

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DJILALI BOUNAAMA KHEMIS MILIANA

FACULTE DES SCIENCES DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES TECHNOLOGIE

MEMOIRE PRESENTE
POUR L'OBTENTION DE DIPLOME

Master

En

<< Electrotechnique >>

Option :

<< Electrotechnique industrielle >>

Titre :

Prévision à court terme de la vitesse du vent en
utilisant le modelé **RNA** pour la production de
l'énergie électrique

✓ **Présenté par :**

❖ DAHMAN MOHAMMED

❖ MOKEDDEM MOHAMMED

✓ **Devant le jury composé de :**

❖ **Président :**

❖ **Encadreur :** Dr. Azizou fethi

❖ **Examineur :**

Année Universitaire : 2019/2020

بِسْمِ

اللَّهِ

الرَّحْمَنِ

الرَّحِيمِ

Remerciements

Au terme de ce travail. Nous tenons à remercier en premier Allah le tout puissant miséricordieux qui nous a donné le courage et la force pour

L'élaboration et la concrétisation de ce modeste travail.

Nous exprimons une profonde gratitude envers notre promoteur Dr « Fathi Azizou » qui de par sa clairvoyance, son vaste savoir et sa et sa disponibilité, nous a offert **le meilleur encadrement possible**.

Je remercie, également, tous les enseignants de l'électrotechnique (ELT) qui ont contribué à notre éducation intellectuelle.

Nous tenons également à exprimer notre reconnaissance aux membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger ce modeste travail.

Enfin à toutes personnes qui ont contribuées et participées de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci



Résumé :

Le vent comme phénomène chaotique peut être mesuré sur une période conventionnelle de 1 mois, il est variable mensuellement et journalière. Pour le modéliser, plusieurs méthodes ont été utilisées, parmi ces méthodes qui font l'objet de notre travail est la méthode de réseaux neurones artificiels. Cette méthode consiste à introduire les données de la vitesse du vent dans un programme sous Matlab. Les résultats obtenus à partir de cette méthode sont annotés avec mesurés.

Abstract

The wind as chaotic phenomenon can be measured on a conventional period of 1 month, it is variable monthly and daily. To model it, several methods are used among those methods ANN "Artificial neurons net". By this method, we can introduce the data of wind in Matlab Program. The results obtained from this method are annotated with those measured.

ملخص :

يمكن قياس الرياح كظاهرة فوضوية خلال فترة تقليدية مدتها شهر واحد، فهي متغيرة شهرياً ويومياً. لنمذجة ذلك، تم استخدام عدة طرق، من بين هذه الأساليب التي هي موضوع عملنا طريقة الشبكات العصبية الاصطناعية. تتكون هذه الطريقة من إدخال بيانات سرعة الرياح في برنامج في Matlab. النتائج التي تم الحصول عليها من هذه الطريقة مشروحة بقياسها.



TABLE DES MATIERES

<u>Introduction générale</u>	1
<u>CHAPITRE I :</u>	
<u>GENERALITES SUR LES RESEAUX ELECTRIQUES</u>	3
<u>I. Introduction :</u>	3
<u>I.1. Réseau Electrique :</u>	4
<u>I.1.1. Nature de la tension, comparaison continu / alternatif :</u>	5
<u>I.1.1.1. Courant alternatif :</u>	5
<u>I.1.1.2. Courant continu :</u>	6
<u>I.1.2. Raison d'utilisation d'une tension sinusoïdale :</u>	6
<u>I.1.3. Choix entre un système monophasé et triphasé :</u>	6
<u>I.2. Production d'énergie électrique :</u>	7
<u>I.2.1. Les sources non renouvelables :</u>	7
<u>I.2.1.1. Les Centrales thermiques :</u>	7
<u>I.2.1.2. Les Centrales nucléaire :</u>	8
<u>I.2.1.2.1. L'énergie libérée par la fission atomique :</u>	9
<u>I.2.2. Les sources renouvelables</u>	10
<u>I.2.2.1. Les centrales hydrauliques</u>	10
<u>I.2.2.1.1. Puissance disponible :</u>	10
<u>I.2.2.1.2. Types de centrales hydrauliques</u>	11
<u>I.2.2.2. L'énergie photovoltaïque :</u>	11
<u>I.2.2.3. La géothermie :</u>	12
<u>I.2.2.4. L'énergie éolienne</u>	12
<u>I.2.2.4.1. Principe de conversion de l'énergie éolienne :</u>	13
<u>I.2.2.4.2. Puissance disponible :</u>	14
<u>I.2.2.4.3. Les avantages et inconvénients de l'énergie éolienne :</u>	14
<u>I.2.2.4.4. Les différents types d'éoliennes :</u>	15



I.2.2.4.4.1. Éoliennes à axe horizontal :	15
I.2.2.4.4.2. Les avantages et les inconvénients d'une éolienne à axe horizontal :	16
I.2.2.4.4.3. Eoliennes à axe vertical :	16
I.2.2.4.5. Chaîne de conversion de l'énergie éolienne :	17
I.2.2.4.6. Les composantes principales d'une éolienne :	17
I.2.2.4.7. Les catégories des éoliennes :	19
I.2.2.4.8. Zones de fonctionnement de l'éolienne :	19
I.2.2.4.9. Principe de fonctionnement d'une éolienne :	20
I. Conclusion :	22

CHAPITRE II :

RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS	23
II. Introduction :	23
II.1. Les neurones biologiques :	24
II.2. Structure des neurones :	24
II.3. Neurone formel :	25
II.4. L'utilisation des réseaux de neurones :	25
II.5. Topologies des réseaux de neurones artificiels :	26
II.6. Structure d'interconnexion des RNA :	27
II.6.1. Réseaux multicouches :	27
II.6.2. Réseaux à connexions locales :	28
II.6.3. Réseaux à connexions récurrentes :	29
II.6.4. Réseaux à connexions complexes :	29
II.7. Architecture des RNA :	30
II.7.1. Réseaux statiques :	30
II.7.2. Réseaux dynamiques :	30
II.7.3. Réseaux auto-organise :	30
II.8. Modelé et équation des réseaux :	30



<u>II.8.1. Réseaux de rétro-propagation :</u>	31
<u>II.8.1.1. Adaptation des poids :</u>	32
<u>II.8.1.2. Les étapes d’algorithme de rétro-propagation :</u>	33
<u>II.8.2. Réseaux Propagation vers l'avant« Feed-Forward » :</u>	34
<u>II.8.2.1. Perceptron monocouche SLP :</u>	35
<u>II.8.2.2. Perceptron multicouches PMC :</u>	35
<u>II.9. Apprentissage :</u>	36
<u>II.9.1. L’apprentissage supervisé :</u>	37
<u>II.9.1.1. La règle d'apprentissage du perceptron un exemple d’apprentissage supervisé :</u>	37
<u>II.9.2. L’apprentissage non supervisé :</u>	39
<u>II.9.2.1. La loi de Hebb, un exemple d'apprentissage non supervisé :</u>	39
<u>II.9.3. L’apprentissage hybride :</u>	42
<u>II.10. Algorithme d'apprentissage :</u>	42
<u>II.11. Généralisation :</u>	43
<u>II. Conclusion :</u>	44
<u>CHAPITRE III:</u>	
<u>SIMULATION NUMERIQUE</u>	45
<u>III. Introduction :</u>	45
<u>III.1. Extrapolation vertical de la vitesse du vent :</u>	45
<u>III.1.1. La loi logarithmique :</u>	45
<u>III.1.2. La loi de puissance :</u>	46
<u>III.2. Potentiel éolien :</u>	47
<u>III.3. Rugosité des sols :</u>	47
<u>III.4. Mesure de la vitesse du vent :</u>	48
<u>III.4.1. L’anémomètre :</u>	48
<u>III.4.2. Unités de mesure :</u>	48
<u>III.4.2.1. L’anémomètre à couple :</u>	49
<u>III.4.2.2. L’anémomètre sonique :</u>	49

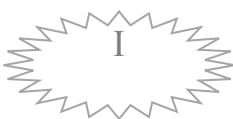


TABLE DES MATIERES

<u>III.4.3. Utilisation du LIDAR et SODAR</u>	50
<u>III.5. Série temporelle :</u>	50
<u>III.5.1. Présentations de la base de données :</u>	50
<u>III.5.2. Caractéristique de site :</u>	50
<u>III.6. Simulation et résultats :</u>	51
<u>III.7. Variation de la vitesse du vent :</u>	51
<u>III.8. Mise en œuvre du modèle RNA</u>	52
<u>III.8.1. Prévision de la vitesse du vent à l'aide de LM « Levenberg-Marquardt » Algorithme de propagation arrière :</u>	53
<u>III.8.2. Simulation et résultats :</u>	56
<u>III.8.3. Prédiction par le réseau de neurones la puissance de vent :</u>	59
<u>III. Conclusion :</u>	62
<u>Conclusion général</u>	63
<u>Bibliographie :</u>	64



LISTE DES FIGEURE

CHAPITRE I

<u>Fig.I.1: Schéma du réseau de transport</u>	4
<u>Fig.I.2: Les éléments d'une centrale thermique</u>	8
<u>Fig.I.3: Les éléments d'une centrale nucléaire</u>	9
<u>Fig.I.4: Les éléments d'une centrale hydraulique .</u>	10
<u>Fig.I.5: Panneaux solaires photovoltaïques</u>	11
<u>Fig.I.6: L'énergie géothermique.</u>	12
<u>Fig.I.7: Les éléments de l'éolienne.</u>	13
<u>Fig.I.8: Principe de la conversion d'énergie.</u>	13
<u>Fig.I.9: Les éoliennes classiques à axe horizontal.</u>	15
<u>Fig.I.10: Eolienne à axe horizontal.</u>	16
<u>Fig.I.11: Eolienne à axe vertical.</u>	17
<u>Fig.I.12: Les principaux constituant d'une éolienne</u>	18
<u>Fig.I.13: Courbe de puissance éolienne en fonction de vitesse du vent.</u>	19

CHAPITRE II

<u>Fig.II. 1: Neurone biologique</u>	24
<u>Fig.II. 2: Neurone formel</u>	25
<u>Fig.II. 3: Topologie de réseaux de neurones artificiels</u>	27
<u>Fig.II. 4: Réseaux multicouche classique</u>	28
<u>Fig.II. 5: Réseaux à connexions locales</u>	28
<u>Fig.II. 6: Réseaux à connexions récurrentes. [12]</u>	29
<u>Fig.II. 7: Réseaux à connexions complexes</u>	29



<u>Fig.II. 8: Perceptron entrée poids sortie</u>	35
<u>Fig.II. 9: Exemple d'un réseau de type perceptron</u>	36
<u>Fig.II. 10: Le neurone simple</u>	39
<u>Fig.II. 11: Neurones</u>	40

CHAPITRE III

<u>Fig.III. 1: Anémomètre à couple</u>	49
<u>Fig.III. 2: Anémomètre sonique.</u>	49
<u>Fig.III. 3: Une girouette.</u>	50
<u>Fig.III. 4: La courbe de variation de vitesse de vent (07/09/2020_06/10/2020)</u>	52
<u>Fig.III. 5: Structure générale du modèle RNA.</u>	53
<u>Fig.III. 6: Courbes de performance.</u>	54
<u>Fig.III. 8: Courbe de résultat de simulation du modèle RNA (07/09/2020_06/10/2020).</u>	58
<u>Fig.III. 9: La courbe de puissance de vent.</u>	61



LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I

<u>Tabl.I. 1: Les avantages et les inconvénients de courant alternatif</u>	5
<u>Tabl.I. 2: Les avantages et les inconvénients de courant continu.</u>	6
<u>Tabl.I. 3: Les avantages et inconvénients de l'énergie éolienne.</u>	14
<u>Tabl.I. 4: Classification des turbines éolienne. [6]</u>	19
<u>Tabl.I. 5: Les fonction de élément d'instaletion .</u>	21

CHAPITRE II

<u>Tabl.II. 1: Les données de La valeur d'activation</u>	38
<u>Tabl.II. 2: Les valeurs d'activation</u>	39
<u>Tabl.II. 3: La valeur d'activation</u>	40
<u>Tabl.II. 4: la valeur d'activation</u>	41

CHAPITRE III

<u>Tabl.III. 1: Valeurs du coefficient de friction pour différents types de terrain [18].</u>	46
<u>Tabl.III. 2: Classification des types terrains selon la longueur et la classe de rugosité. [18]</u>	48
<u>Tabl.III. 3: Caractéristique géographiques du site bale.</u>	50
<u>Tabl.III. 3: Les caractéristique géographiques du site bâle.</u>	51
<u>Tabl.III. 4: Le donnée de variation de vitesse de vent (07/09/2020_06/10/2020)</u>	52
<u>Tabl.III. 5: Résultats de simulation du modèle RNA (07/092020_06/10/2020).</u>	57
<u>Tabl.III. 6: Les valeurs des données de vitesse de vent</u>	59
<u>Tabl.III. 7: Puissance estimée et actuelle de vent (kWh).</u>	60



Introduction générale

Le développement est l'exploitation des énergies renouvelables ont connu une forte croissance au cours de ces dernières années. naturellement décentralisées, il est intéressant de les exploiter sur le lieu de consommation, en les transformant directement soit en chaleur, soit en électricité selon les besoins.

D'origine éolienne, photovoltaïque, hydraulique, géothermique, marémotrice, ou autre, les énergies renouvelables sont les seules ressources d'énergies alternatives capables de répondre au besoin énergétique du monde. L'énergie éolienne est très importante et bien répartie dans presque toutes les régions du monde. Cette énergie est inépuisable et répond aux préoccupations environnementales soulevées par l'usage des énergies fossiles. La puissance éolienne totale disponible sur la terre est estimée entre 300 000 et 870 000 GW. L'Algérie présente un potentiel éolien considérable qui peut être exploité pour la production de l'électricité surtout dans la région du sud où la vitesse de vent est plus élevée (vitesse moyenne annuelle 6,3 m/s dans la région d'Adrar) que celles du nord, où le régime du vent est modéré (2 à 6 m/s). Ce potentiel énergétique convient parfaitement pour la production d'électricité et le pompage l'eau. La génération de l'énergie éolienne représente une solution importante qui pourrait mitiger les problèmes d'énergie grâce essentiellement à ces impacts insignifiants sur l'environnement, et le fait que cette énergie est renouvelable et pourrait contribuer au développement dans le monde.

La première éolienne « industrielle » génératrice d'électricité est développée par danois Poule La Cour en 1890, pour fabriquer de l'hydrogène par électrolyse. Dans les années suivantes, il crée l'éolienne Lyk kegard, dont il aura vendu 72 exemplaires en 1908 en raison de la nature fluctuante du vent, l'éolien ne peut être considéré que comme une source d'énergie de complément et non de remplacement des solutions classiques. Actuellement, plusieurs pays sont déjà résolument tournés vers l'énergie éolienne. Mais L'énergie éolienne est une énergie fatale, elle est fortement liée à la variation de la vitesse du vent : c'est-à-dire que l'énergie éolienne est une énergie intermittente, sans vent il n'y a pas de productivité. Elle dépend donc de la topologie du site (les reliefs du sol) et des conditions météorologiques. Le travail présenté est structuré en trois chapitres :

Dans le premier chapitre, comprend des généralités sur les différents ressources énergie (les deux types : des énergies renouvelables et non renouvelable) et les avantages et les inconvénients

pour chaque type et à la fin de chapitre nous parlons de l'énergie éolienne en particulier présente une définition de l'énergie éolienne de manière générale, ensuite, nous abordons les différents types d'éoliennes ainsi que l'architecture d'une éolienne à axe horizontal. Par ailleurs, nous définissons les divers domaines d'applications des éoliennes. Quant au reste, il comprend la définition de la puissance d'une éolienne et les généralités sur le vent ; les différentes forces qui le régissent et les différents types de vent, les caractéristiques du vent.

Dans le deuxième chapitre, nous parlons sur les réseaux de neurones du vent, définissons des réseaux de neurones artificiels, différents types de réseaux de neurones ; modèles, équations et principe de rétro-propagation.

Le dernier chapitre présente les résultats de simulations obtenues et les discussions sur la variation de la vitesse du vent par la méthode des RNA (réseaux neurone artificiels).

CHAPITRE I :

GENERALITES SUR LES RESEAUX ELECTRIQUES

I. Introduction :

L'électricité est devenue une énergie indispensable à la vie et sa consommation évolue de jour en jour. La partie majeure de cette production est à base hydrocarbures qui ne peuvent être exploités que pour quelques décennies, ce qui laisse présager une situation de pénurie énergétique au niveau mondial de façon imminente. Il existe deux sources d'énergie en dehors des hydrocarbures qui sont en mesure de fournir de l'énergie à long terme, à savoir le charbon et l'énergie nucléaire. Plusieurs études estiment qu'il y a suffisamment de charbon pour plusieurs siècles au rythme actuel de consommation malheureusement, le charbon et le nucléaire présentent de sérieux problèmes d'environnement, parmi lesquels on peut citer le réchauffement climatique dû aux gaz à effet de serre et les différentes pollutions industrielles.

Par ailleurs la surexploitation des ressources naturelles fossiles limitées et épuisables dans le temps poussent les pays développés et émergents à se rabattre vers des énergies inépuisables, propres et renouvelables tels que le solaire, la géothermie, la biomasse et l'énergie éolienne. [22]

L'énergie électrique d'origine éolienne est parfois considérée comme la plus prometteuse des énergies renouvelables à développer pour remplacer les hydrocarbures. Mais en raison de la nature fluctuante du vent, l'éolien ne peut être considéré que comme une source d'énergie de complément et non de remplacement des solutions classiques. Actuellement, plusieurs pays sont déjà résolument tournés vers l'énergie éolienne. L'Allemagne est aujourd'hui le premier producteur mondial avec une production de 14.6 GW en 2003, l'Espagne est au deuxième rang avec 6.4 GW, les USA au troisième rang avec 6.3 GW et le Danemark au quatrième rang avec 3.1 GW. La France est au dixième rang européen avec 0.253 GW. L'Union Européenne avec 4,15 GW. Alors qu'en Algérie, nous sommes encore dans un stade préliminaire avec une seule ferme éolienne pilote d'une capacité nominale de 10MW, sachant que la vitesse moyenne annuelle est comprise entre 2 et 6m/s. [23]

I.1. Réseau Electrique :

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RESEAUX ELECTRIQUES

Un réseau, c'est d'abord un certain nombre de fonctions et de comportements d'ensemble, qu'il faut définir, mettre en œuvre, maîtriser grâce à une **conception** et une **exploitation** convenables. Ce sont ensuite des **ouvrages** et des **matériels** (lignes aériennes et souterraines, postes, câbles, appareillage, transformateurs, parafoudres, etc.) qui, assemblés, forment le réseau physique ; la qualité conditionne très largement celle du réseau, donc celle de la desserte en électricité de ses clients.

C'est enfin tout un ensemble d'automatismes et de transmission d'informations et de commandes ensemble coordonné. Donc système nerveux absolument indispensable à la protection des ouvrages et des matériels. À la robustesse du réseau vis-à-vis des défaillances internes et des agressions extérieures comme la foudre et les conditions climatiques extrêmes : système indispensable aussi à la maîtrise par l'exploitant d'un outil technique qui pour les réseaux publics du moins n'est pas concentré en un site, mais couvre des milliers de kilomètres carrés.

Les réseaux électriques ont pour fonction d'interconnecter les centres de production tels que les centrales hydrauliques, thermiques..., avec les centres de consommation (villes, usines...). L'énergie électrique est transportée en haute tension, voire très haute tension pour limiter les pertes joules (les pertes étant proportionnelles au carré de l'intensité puis progressivement abaissée au niveau de la tension de l'utilisateur final (Fig.I.1). [1]

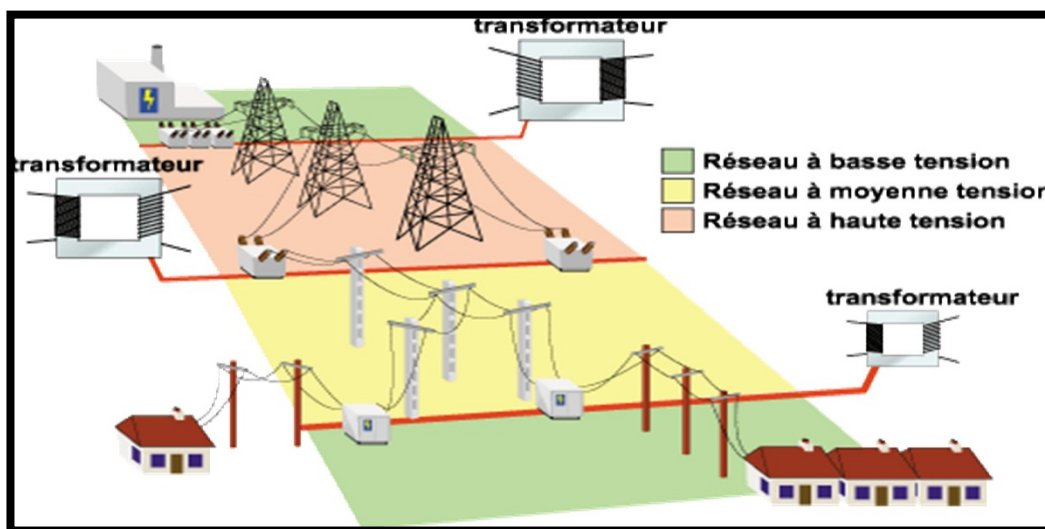


Fig.I.1: Schéma du réseau de transport

I.1.1. Nature de la tension, comparaison continu / alternatif :

Les tensions et les courants présents sur le réseau sont sinusoïdaux à une fréquence fixe de



CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RESEAUX ELECTRIQUES

50Hz (60Hz aux USA, au Canada, etc.).

Les tensions sinusoïdales sont présentes à 99% sur les réseaux électriques, au dépend des tensions continues. Pour connaître les raisons de ce choix, d'avantages et d'inconvénients relatifs aux régimes alternatifs sinusoïdaux et continus.

➤ **Des nœuds**(ou postes) où sont raccordés : les centrales (centre de production), les charges (consommation) et les lignes électriques (élément du réseau).

➤ **Des branches**(ou lignes électriques) : qui interconnectent les nœuds.

Le maillage du réseau améliore la disponibilité de l'alimentation en énergie aux usagers, la stabilité et la qualité du produit électrique car les deux dépendent de la puissance de court-circuit, laquelle augmente avec le maillage ou plus exactement avec le nombre et la puissance des centres de production installés et raccordés. [1]

I.1.1.1. Courant alternatif :

Les avantages	Les inconvénients
➤ Production directe par alternateur	➤ Difficultés d'inter connexion de plusieurs réseaux (il faut avoir la même fréquence et la même tension et la même phase).
➤ Facilite la coupure des courants par le passage naturel par 0 deux fois par période c.à.d. 100 fois par seconde	➤ Implique un effet de peau (concentration du courant dans la périphérie des câbles d'où la nécessité de câbles et lignes adaptés et donc plus chers.
➤ Permettre l'utilisation des transformateurs pour élever et abaisser la tension	➤ Implique des effets inductifs et capacitifs tout au long du réseau d'où l'existence de puissance réactive pénalisante producteur.

Tabl.I. 1: Les avantages et les inconvénients de courant alternatif

I.1.1.2. Courant continu :

Les avantages	Les inconvénients
---------------	-------------------

➤ Pas d'effet de peau (les câbles et les lignes sont plus simples et moins chers).	➤ Impossibilités de produire et d'élever la tension dans les très hautes tensions d'où des pertes importantes sur les lignes.
➤ Facilite l'interconnexion des réseaux, il suffit d'avoir partout la même tension.	➤ performants et plus chers.
➤ Pas d'effet réactif donc pas de puissance réactive pénalisante pour la production.	➤ Difficulté de couper les courants continus, d'où des dispositifs de coupure.

I.1.2. Raison d'utilisation d'une tension sinusoïdale :

La solution la plus continue. **Tabl.I. 2:** Les avantages et les inconvénients de courant continu. La solution la plus continue. La commodité pour produire de manière industrielle de l'énergie électrique est l'entraînement d'un alternateur par une turbine, le tout en rotation autour d'un axe. De manière naturelle ces installations produisent des tensions sinusoïdales.

En sens inverse et tout aussi naturellement, ces tensions sinusoïdales permettent l'entraînement régulier d'un moteur électrique.

Cette facilité d'utilisation à la production et à l'usage dans les machines tournantes constitue les deux grands atouts de la tension sinusoïdale.

I.1.3. Choix entre un système monophasé et triphasé :

Il est tout à fait possible de réaliser un réseau uniquement en courant monophasé. Les raisons qui ont conduit à adopter le réseau triphasé sont les avantages techniques et économiques importants qu'il présente :

➤ Un alternateur de très forte puissance ne peut pas fonctionner en produisant un courant monophasé car la puissance fluctuante qui en résulte provoque une destruction de l'arbre de liaison entre l'alternateur et la source d'énergie mécanique qui le met en rotation. En effet, un système monophasé voit sa puissance instantanée passer par une valeur nulle à chaque oscillation de l'onde de tension (lorsque la tension ou l'intensité passe par zéro). La puissance instantanée est donc variable. Au contraire, les systèmes triphasés équilibrés assurent une puissance instantanée

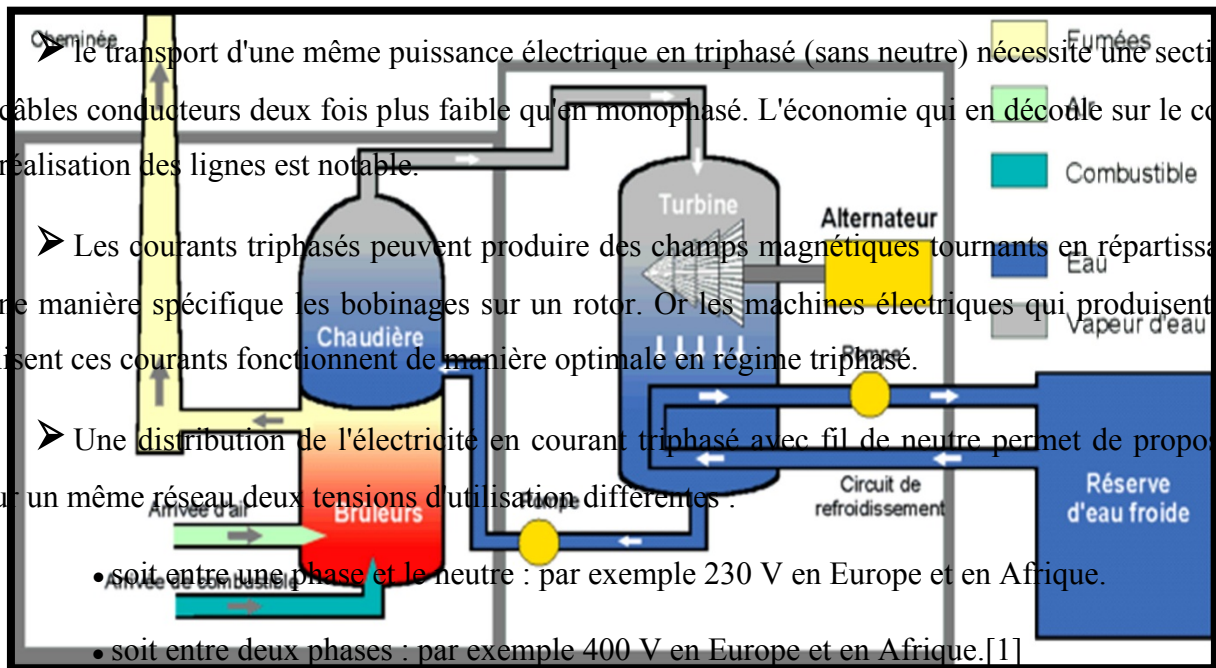
constante.

➤ le transport d'une même puissance électrique en triphasé (sans neutre) nécessite une section de câbles conducteurs deux fois plus faible qu'en monophasé. L'économie qui en découle sur le coût de réalisation des lignes est notable.

➤ Les courants triphasés peuvent produire des champs magnétiques tournants en répartissant d'une manière spécifique les bobinages sur un rotor. Or les machines électriques qui produisent et utilisent ces courants fonctionnent de manière optimale en régime triphasé.

➤ Une distribution de l'électricité en courant triphasé avec fil de neutre permet de proposer pour un même réseau deux tensions d'utilisation différentes :

- soit entre une phase et le neutre : par exemple 230 V en Europe et en Afrique.
- soit entre deux phases : par exemple 400 V en Europe et en Afrique.[1]



I.2. Production d'énergie électrique :

Pour produire de l'électricité, il faut **transformer une source d'énergie** fournie par la nature. Cette opération est réalisée dans des **centrales électriques** par la mise en rotation, grâce à la force du vent, de l'eau ou de la vapeur d'eau, d'une **turbine** qui entraîne un **alternateur**.

I.2.1. les sources non renouvelables :

I.2.1.1. Les centrales thermiques :

Les centrales thermiques produisent l'électricité à partir de la chaleur qui se dégage de la combustion du charbon, du mazout ou du gaz naturel. La plupart ont une capacité comprise entre 200 MW et 2000 MW afin de réaliser les économies d'une grosse installation. Il suffit de visiter une telle centrale pour se rendre compte de sa complexité et de ses dimensions imposantes. On la trouve souvent près d'une rivière ou d'un lac, car d'énormes quantités d'eau sont requises pour refroidir et condenser la vapeur sortant des turbines. **Comme dans la plupart des pays modernes les ressources hydrauliques sont déjà** exploitées, nous devons compter sur les centrales thermiques pour produire l'énergie électrique supplémentaire requise, parallèlement à la croissance des centrales nucléaires.

I.2.1.2. Les centrales nucléaires :

Les centrales nucléaires produisent l'électricité à partir de la chaleur libérée par une réaction nucléaire. Ce phénomène est provoqué par la division du noyau d'un atome, procédé qu'on appelle fission nucléaire.

Une centrale nucléaire est identique à une centrale thermique, sauf que la chaudière brûlant le combustible fossile est remplacée par un réacteur contenant le combustible nucléaire en fission. Une telle centrale comprend donc une turbine à vapeur, un alternateur, un condenseur, etc..., comme dans une centrale thermique conventionnelle. Le rendement global est semblable (entre 30 % et 40 %) et l'on doit encore prévoir un système de refroidissement important, ce qui nécessite un emplacement près d'un cours d'eau ou la construction d'une tour de refroidissement.[2]

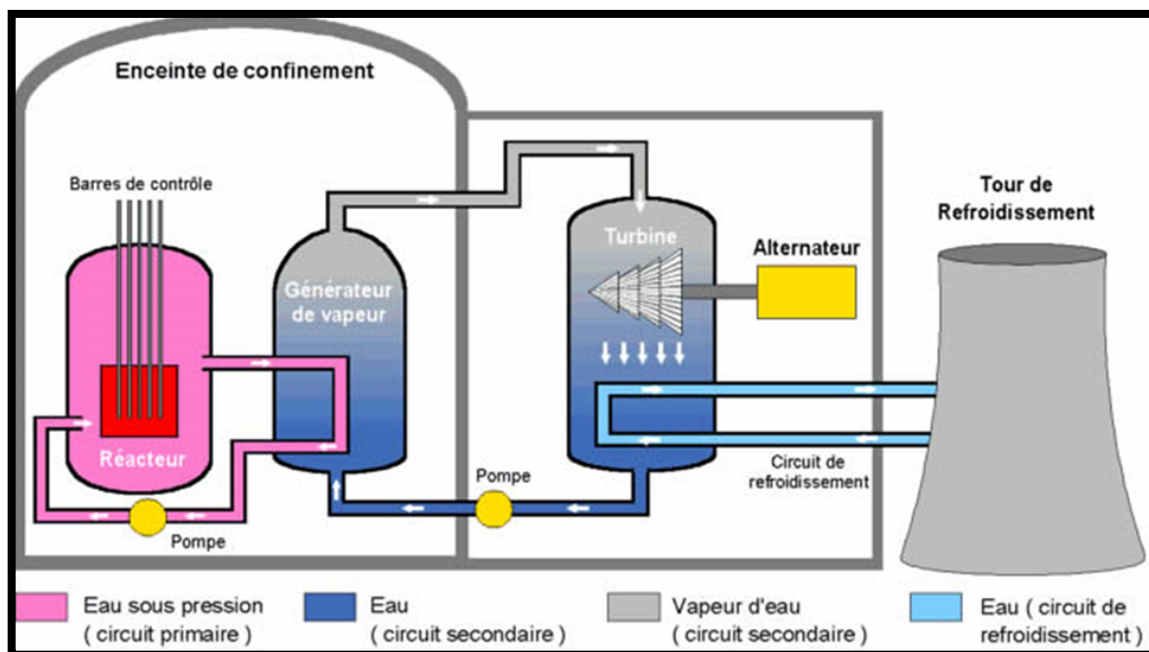


Fig.I.3: Les éléments d'une centrale nucléaire

I.2.1.2.1. L'énergie libérée par la fission atomique :

Lorsque le noyau d'un atome subit la fission, il se sépare en deux. La masse totale des deux atomes ainsi formés est habituellement différente de celle de l'atome original. S'il y a une diminution de la masse, une quantité d'énergie est libérée. Sa valeur est donnée par la formule :

$$E=m.C^2$$

(I.1)

E = énergie libérée, en joules [J].

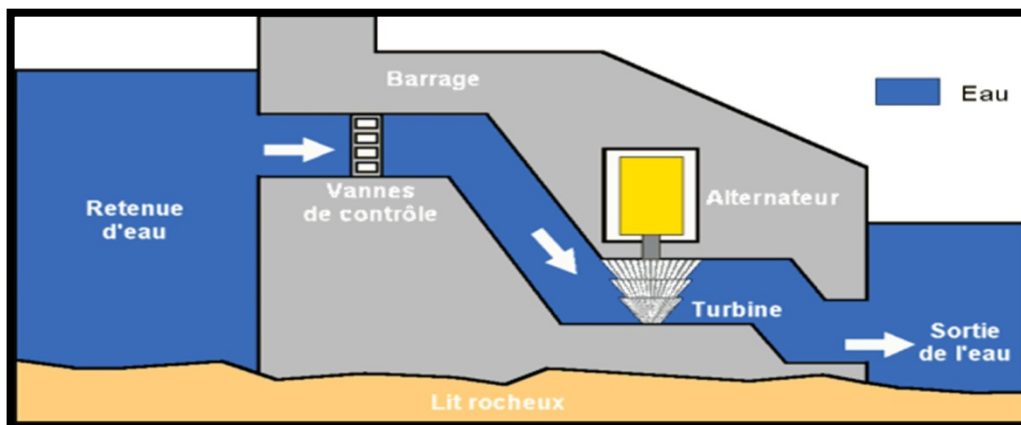
m = diminution de masse, en kilogrammes [kg].

C = vitesse de la lumière [3×10^8 m/s]. La quantité d'énergie libérée est énorme, car une diminution de **1 g** seulement donne une énergie de 9×10^{13} joules, soit l'équivalent énergétique d'environ trois mille tonnes de charbon.

I.2.2. Les sources renouvelables

I.2.2.1. Les centrales hydrauliques

Les centrales hydro-électriques convertissent l'énergie de l'eau en mouvement en énergie électrique.



- L'eau s'accumule et forme un lac de retenue.
- L'eau s'engouffre dans de longs tuyaux appelés conduites forcées lorsque les vannes sont ouvertes. L'eau est conduite vers la centrale hydraulique située en contrebas.
- Dans cette centrale, la force de l'eau fait tourner une turbine, qui à son tour, fait fonctionner un alternateur qui produit un courant électrique alternatif. L'eau turbinée qui a perdu de sa

puissance est rejetée dans le cours d'eau par un canal de fuite.

- La tension du courant électrique produit par l'alternateur est élevée à l'aide d'un transformateur. [2]

I.2.2.1.1. Puissance disponible :

D'une façon générale, la puissance que l'on peut tirer d'une chute dépend non seulement de la hauteur de la chute, mais aussi du débit du cours d'eau. Le choix de l'emplacement d'une centrale hydro-électrique dépend donc de ces deux facteurs.

La puissance disponible est donnée par l'équation :

$$P = 9.8.q .h \quad (I.2)$$

P : puissance hydraulique, en kilowatts [kW]. **q** : débit en mètres cubes par seconde [m³/s].
h : hauteur de la chute, en mètres [m]. **9.8** : Coefficient tenant compte des unités.

I.2.2.1.2. Types de centrales hydrauliques

Suivant la hauteur de chute, on distingue :

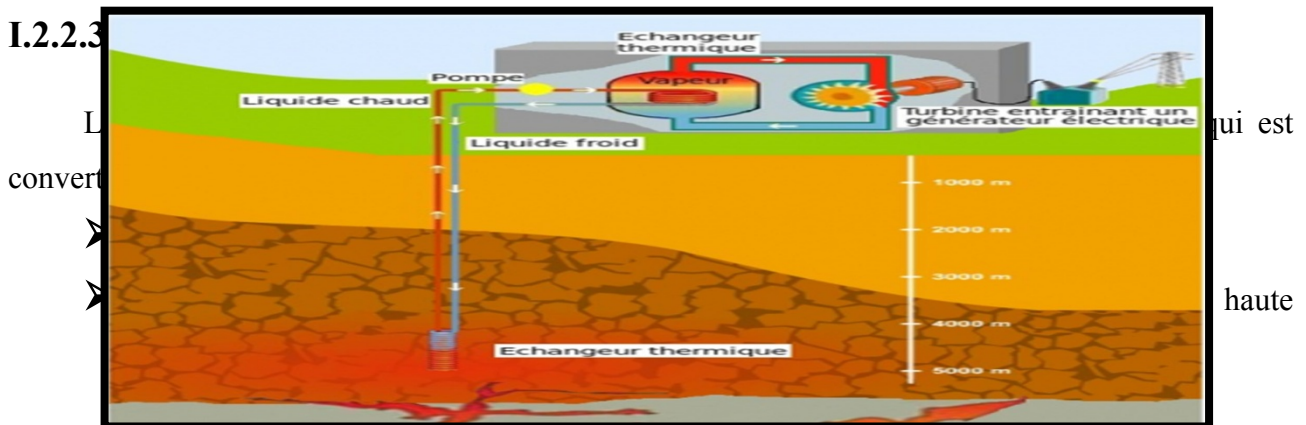
- les centrales de haute chute ont des hauteurs de chute supérieures à 300m
- les centrales de moyenne chute ont des hauteurs comprises entre 30 m et 300m.
- les centrales de basse chute ont des hauteurs de chute inférieures à 30m.

I.2.2.2. L'énergie photovoltaïque :



CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RESEAUX ELECTRIQUES

- L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi-conducteurs comme le silicium ou des matériaux recouverts d'une mince couche métallique ou organique.
- Ces matériaux photosensibles ont la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence d'une énergie extérieure. C'est l'effet photovoltaïque.
- L'énergie est apportée par les photons, (composants de la lumière) qui heurtent les électrons et les libèrent, induisant un courant électrique.
- Un générateur solaire photovoltaïque est composé de modules photovoltaïques eux-mêmes composés de cellules photovoltaïques connectées entre elles.
- Les performances d'une installation photovoltaïque dépendent de l'orientation des panneaux solaires et des zones d'ensoleillement. [2]



L'énergie géothermique est exploitée dans des réseaux de chauffage et d'eau chaude, ou pour produire de l'électricité.[2]

I.2.2.4. L'énergie éolienne

L'énergie éolienne est une énergie renouvelable, propre sans rejet atmosphérique géographiquement diffuse et sa source (vent) plus important en hiver. Cependant, le captage et la conversion d'énergie sont complexes, les matériaux coûteux et la source d'énergie difficile à prévoir et reste aléatoire air chaud plus air froid dépression atmosphérique entraînement des pales et entraînement du générateur électrique. [3]

Fig.I.6: L'énergie géothermique.



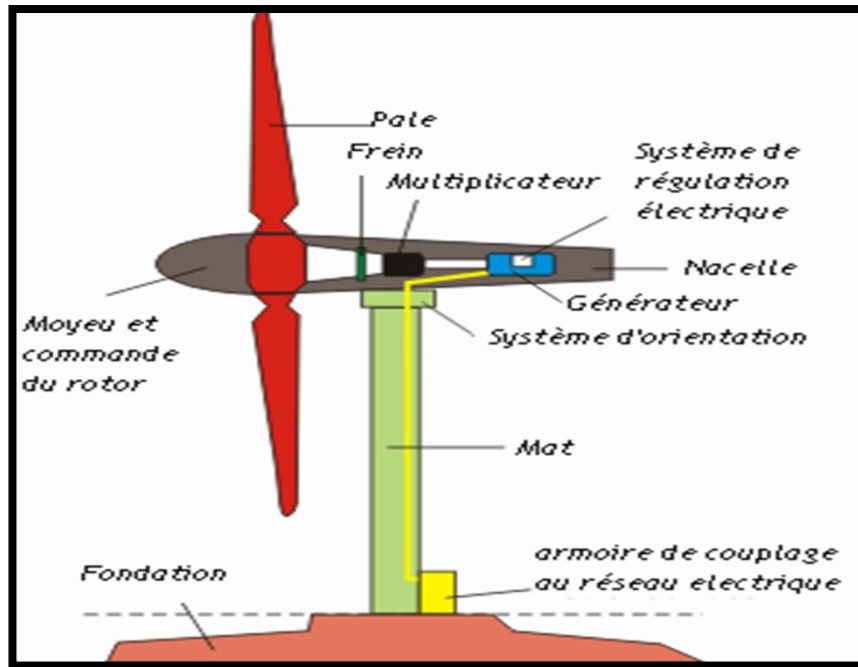


Fig.I.7: Les éléments de l'éolienne.

I.2.2.4.1. Principe de conversion de l'énergie éolienne :

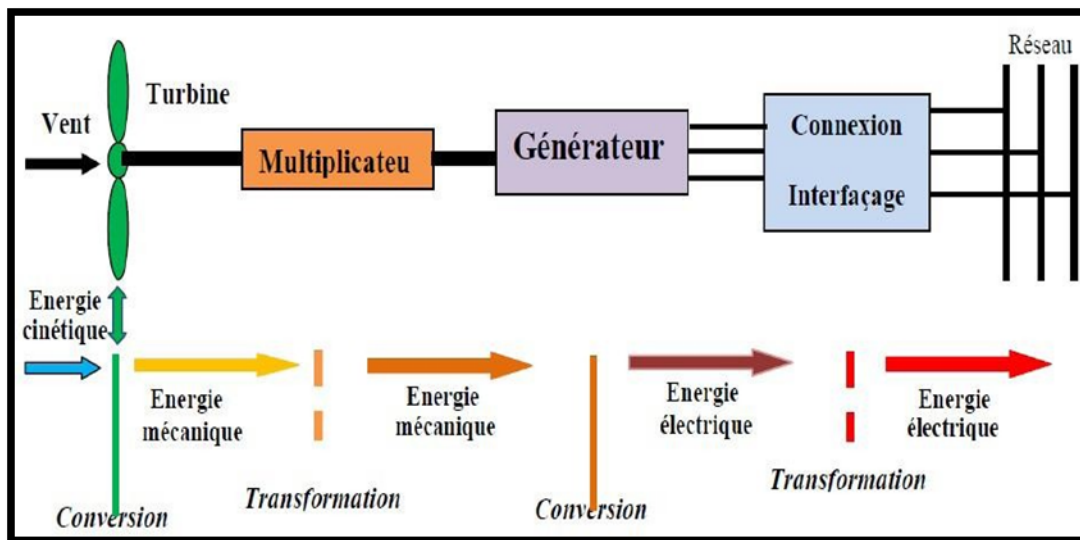


Fig.I.8: Principe de la conversion d'énergie.

Sous l'effet du vent, le rotor tourne. Dans la nacelle, l'arbre principal entraîne un générateur qui produit de l'électricité. La vitesse de rotation du rotor doit être augmentée par un multiplicateur de vitesse jusqu'à environ 1500 tr/mn pour une machine à 2 parties de pôles, vitesse nécessaire au bon fonctionnement du générateur. Des convertisseurs électroniques de vitesse nécessaire au bon fonctionnement du générateur des convertisseurs électroniques de

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RESEAUX ELECTRIQUES

puissance ajustent la fréquence du courant produit par l'éolienne à celle du réseau électrique auquel elle est raccordée, tout en permettant au rotor de l'éolienne de tourner à vitesse variable en fonction du vent. La tension de l'électricité produite par générateur est ensuite élevée à travers un transformateur de puissance, situé dans la nacelle ou à l'intérieur du mat. Ce niveau de tension permet de véhiculer l'électricité produite par chacune des éoliennes d'une centrale éolienne jusqu'au point de raccordement au réseau électrique public. [4]

I.2.2.4.2. Puissance disponible :

Avec :

V : la vitesse de vent [m/s]

I.2.2.4.3. Les Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne :

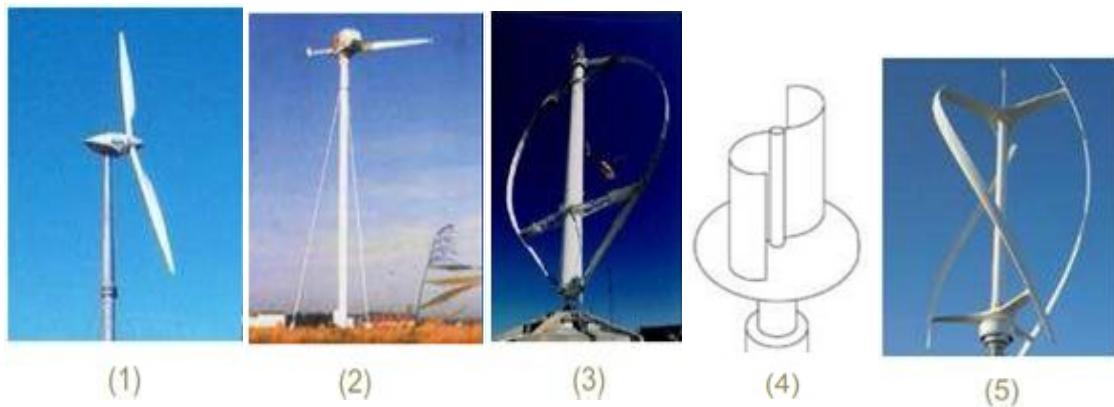
Inconvénients	Avantages
-La nature stochastique du vent a une influence sur la qualité de la puissance électrique produite, ce qui représente une contrainte pour le raccordement au réseau	-La durée de vie des éoliennes modernes est maintenant de 20 à 25 ans, ce qui est comparable à de nombreuses autres technologies de production d'énergie conventionnelles.
-Le coût de l'énergie éolienne reste plus élevé par rapport aux autres sources d'énergie classiques surtout sur les sites moins ventés	-Chaque un mégawat heure d'électricité produit par l'énergie éolienne aide à réduire de 0,8 à 0,9 tonne les émissions de CO2 rejetées chaque année par la production d'électricité d'origine thermique.
-Le bruit : la source essentielle du bruit dans les éoliennes est le multiplicateur, ce dernier commence à disparaître après l'apparition des éoliennes à attaque directe	-C'est l'énergie la moins chère entre les énergies renouvelables

Tabl.I. 3: Les avantages et inconvénients de l'énergie éolienne.

I.2.2.4.4. Les différents types d'éoliennes :

Il faut savoir qu'il existe différents types d'éoliennes qui ont généralement trois pâles, mais peuvent aussi en avoir deux (1), voire une seule (2). On peut aussi trouver des éoliennes à axe vertical, tel que les éoliennes de Darrieux (3), les éoliennes de Savonnions (4), ou encore des éoliennes à hélices (5).

Les éoliennes se divisent en deux grandes familles : celles à axe vertical et celles à Axe horizontal.



I.2.2.4.4.1. Éoliennes à axe horizontal :

Les éoliennes à axe horizontal sont basées sur la technologie ancestrale des moulins à vent. Elles sont constituées de plusieurs pales profilées de façon aérodynamique à la manière des ailes d'avion. Dans ce cas, la portance n'est pas utilisée pour maintenir un avion en vol, mais pour générer un couple moteur car il constitue un compromis entre le coefficient de puissance, le coût et la vitesse de rotation du capteur éolien. Ce type d'éoliennes a pris le dessus sur celles à axe vertical car elles représentent un coût moins important, elles sont moins exposées aux contraintes mécaniques et la position du récepteur à plusieurs dizaines de mètres du sol privilégie l'efficacité [3].

Les concepts abordés dans la suite de cette étude se limiteront uniquement au cas des éoliennes.

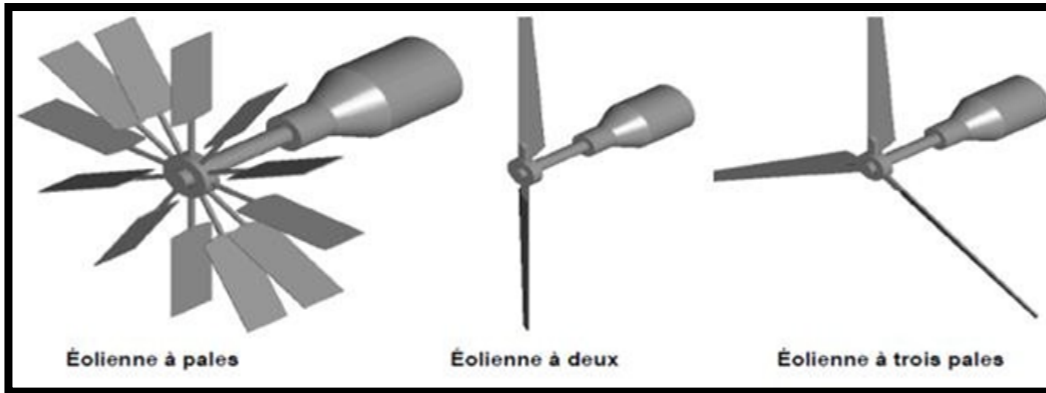


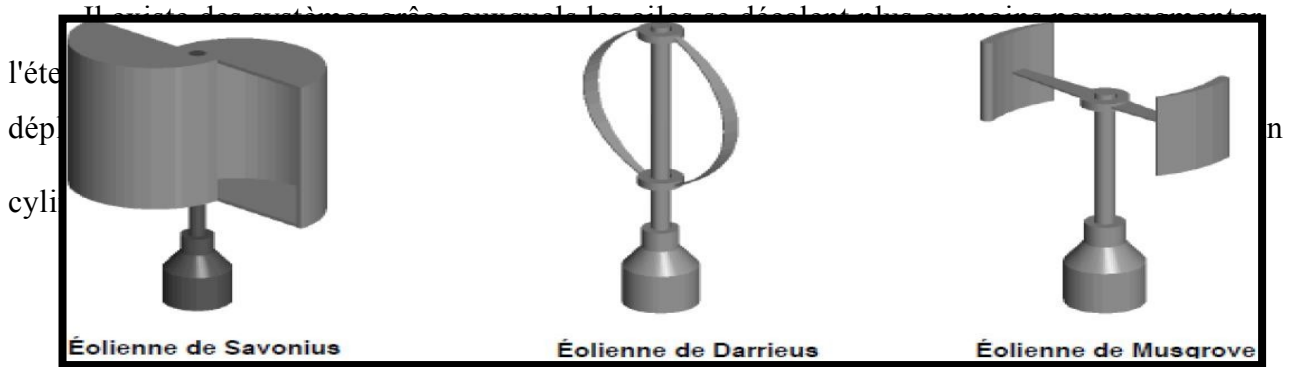
Fig.I.10: Eolienne à axe horizontal.

I.2.2.4.4.2. Les avantages et les inconvénients d'une éolienne à axe horizontal :

Les avantages	Les inconvénients
-L'appareillage se trouve au sommet de la tour ce qui gêne l'intervention en cas d'incident.	-Le générateur et les appareils de commande sont dans la nacelle au sommet de la tour. Ainsi, il n'est pas nécessaire de rajouter un local pour l'appareillage
-Coût de construction très élevé	- Une très faible emprise au sol par rapport aux éoliennes à axe vertical.

I.2.2.4.4.3. Eoliennes à axe vertical :

Les éoliennes à axe vertical, ont été les premières structures développées pour produire de l'électricité paradoxalement en contradiction avec le traditionnel moulin à vent à axe horizontal (Fig. I.10). Elles possèdent l'avantage d'avoir les organes de commande et le générateur au niveau du sol donc facilement accessibles et il s'agit d'une turbine à axe vertical de forme cylindrique qui peut facilement être installées sur le toit d'une maison moderne et dont les avantages sont : faible impact visuel, pratiquement pas de bruit et très grande tolérance aux vents forts [3].



I.2.2.4.5. Chaîne de conversion de l'énergie éolienne :

Pour obtenir de l'électricité à partir du vent, on retrouve dans les différentes configurations les mêmes éléments de base à savoir :

- Une turbine qui transforme l'énergie du vent en énergie mécanique.
- Une transmission mécanique.
- Une génératrice. Un système de liaison électrique.

Selon l'utilisation de l'éolienne, certaines de ces parties sont plus ou moins développées, on distingue deux grandes familles d'éoliennes :

- Les éoliennes raccordées au réseau.
- Les éoliennes autonomes.

I.2.2.4.6. Les composantes principales d'une éolienne :

Une éolienne est constituée principalement de trois parties : les pales (entre 1 et 3), la nacelle et la tour, Chacune de ces parties doit être minutieusement étudiée et modélisée de façon à obtenir un meilleur rendement et une bonne fiabilité du système ainsi qu'un faible coût d'investissement. [5]

- **La nacelle** : située en haut de la tour et qui comporte toute l'installation de production d'électricité : le multiplicateur, le (ou les) générateur(s), les systèmes de frein et d'orientation de l'éolienne et tous les équipements automatisés d'asservissement de l'ensemble des

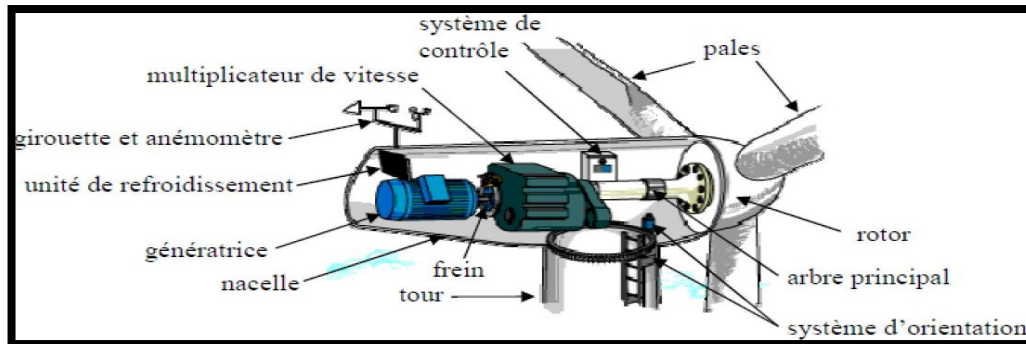


Fig.I.12: Les principaux constituant d'une éolienne

Fonctions de l'éolienne, la nacelle est une structure en acier ou en fonte à laquelle tous ces éléments sont attachés.

➤ **Le rotor** : fait tourner le mécanisme d'entraînement et le générateur les pales doivent être légères solides et durables pour résister à l'action des éléments on les construit habituellement en matériaux composites à base de fibre de verre en plastique renforcé ou en bois l'éolienne doit aussi être conçue de manière à ce que par grand vent le rotor ne tourne pas trop vite c'est le diamètre des pales qui détermine la quantité d'électricité produite par le système l'éolienne compte habituellement deux ou trois pales le rotor à trois pales réduit les contraintes mécaniques que subit le système mais son coût est plus élevé .

- **Les rotors à pas variable** : le mécanisme est presque idéal, car on optimise la vitesse de rotation et la puissance (presque constante), en fonction du vent disponible, mais un tel dispositif est complexe et coûteux.
- **Les rotors à pas fixe** : peuvent néanmoins ralentir automatiquement à partir d'une certaine vitesse, la conception des pales conduit à un effet aérodynamique qui réduit l'efficacité du rotor, Cette technologie entraîne néanmoins une variation plus importante des vitesses du rotor et exige de réguler davantage le courant de sortie.

➤ **le mât** : généralement en métal, supporte l'ensemble des équipements permettant de produire l'électricité (nacelle + rotor), Il est fixé sur une fondation implantée dans le sol, une lourde semelle en béton qui assure l'ancrage et la stabilité de l'éolienne. Le mât des éoliennes atteint aujourd'hui 80 m de haut pour les plus puissantes (exceptionnellement jusqu'à 100 m).

➤ **Les pales** : Les rotors, et tout particulièrement les pales, constituent la partie mécanique la

plus importante de l'éolienne, L'efficacité globale de l'aérogénérateur dépend fortement de celle-ci Plusieurs éléments caractérisent ces dernières telles que : la longueur, la largeur, le profil, le matériau et le nombre.

➤ **Moyeu** : En généralement c'est une pièce d'acier moulé, il reçoit les pales sur des brides normalisées et se monte sur l'arbre lent du multiplicateur, pour sa conception on utilise une forme aérodynamique (plus esthétique que fonctionnelle)..

I.2.2.4.7. Les catégories des éoliennes :

La limite entre les petites et les grandes éoliennes n'est pas clairement définie, La petite éolienne serait pour des puissances inférieures 40 kW (Tableau I.5), Certains vont même jusqu'à rajouter d'autre catégorie micro et moyenne éolienne [6], Les petites éoliennes sont conçues pour équiper des habitations individuelles, des entreprises et permettent une réduction des factures d'électricité, voir une indépendance énergétique.

ECHELLE	DIMETRE DE L'HELICE	PUISSANCE DELIVREE
Petit	moins de 12 m	moins de 40 KW
Moyen	12 m à 45 m	40 KW à 1 MW
Grand	46 m et plus	1 MW et plus

Tabl.I. 4: Classification des turbines

I.2.2.4.8. éolienne. [6] **Zones de fonctionnement de l'éolienne :**

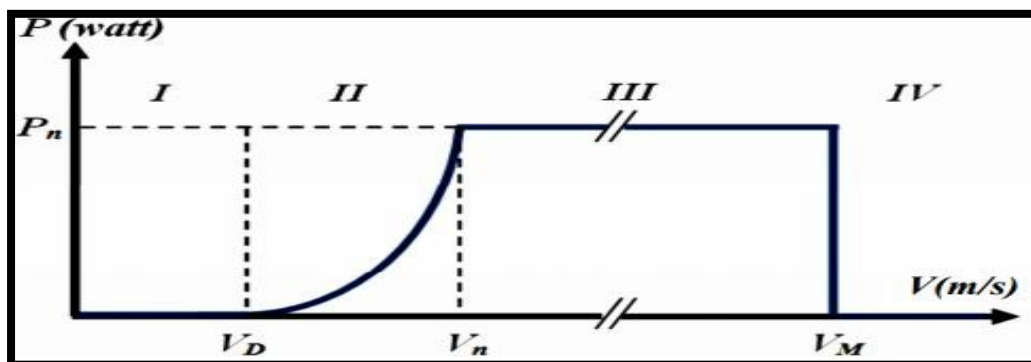


Fig.I.13: Courbe de puissance éolienne en fonction de vitesse du vent.

La courbe de puissance convertie d'une turbine, généralement fournie par les constructeurs, qui permet de définir quatre zones de fonctionnement pour l'éolienne suivant la vitesse du vent :

VD : vitesse du vent correspondant au démarrage de la turbine. Suivant les constructeurs.

VD : varie entre 2.5 m/s et 4 m/s pour les éoliennes de forte puissance.

VN : vitesse du vent pour laquelle la puissance extraite correspond à la puissance nominale de la génératrice. Suivant les constructeurs, VN varie entre 11.5 m/s et 15 m/s en fonction des technologies.

VM : vitesse du vent au-delà de laquelle il convient de déconnecter l'éolienne pour des raisons de tenue mécanique en bout de pales. Pour la grande majorité des éoliennes, VM vaut 25 m/s.

Zone I : $V < VD$: vitesse du vent est trop faible. La turbine peut tourner mais l'énergie à capter est trop faible.

Zone II : $VD < V < VN$: maximum de puissance est capté dans cette zone pour chaque vitesse de vent. Différentes méthodes existent pour optimiser l'énergie extraite. Cette zone correspond au fonctionnement à charge partielle.

Zone III : $VN < V < VM$: puissance disponible devient trop importante, la puissance extraite est donc limitée, tout en restant le plus proche possible de la puissance nominale de la turbine (P_n), Cette zone correspond au fonctionnement à pleine charge.

1.2.2.4.9. Principe de fonctionnement d'une éolienne :

Les instruments de mesure de vent placés au-dessus de la nacelle conditionnent le fonctionnement de l'éolienne, grâce aux informations transmises par la girouette qui détermine la direction du vent, le rotor se positionnera pour être continuellement face au vent les pales se mettent en mouvement lorsque l'anémomètre (positionné sur la nacelle) indique une vitesse de vent d'environ 10 km / h et c'est seulement à partir de 12 km / h que l'éolienne peut être couplée au réseau électrique le rotor et l'arbre dit « lent » transmettent alors l'énergie mécanique à basse vitesse (entre 5 et 20 tr/min) aux engrenages du multiplicateur, dont l'arbre dit « rapide » tourne environ 100 fois plus vite que l'arbre lent certaines éoliennes sont dépourvues de multiplicateur et la génératrice est entraînée directement par l'arbre « lent » lié au rotor la génératrice transforme l'énergie mécanique captée par les pales en énergie électrique .

Pour un aérogénérateur de 2,5 MW par exemple, la production électrique atteint 2500 kWh dès que le vent atteint environ 50 km/h, L'électricité produite par la génératrice correspond à un courant alternatif de fréquence 50 Hz avec une tension de 400 à 690 V. La tension est ensuite élevée jusqu'à 20 000 V par un transformateur placé dans chaque éolienne pour être ensuite injectée dans le réseau électrique public.

Lorsque la mesure de vent, indiquée par l'anémomètre, dépasse les 100 km/h (variable selon le type d'éoliennes), l'éolienne cesse de fonctionner pour des raisons de sécurité. Deux systèmes de

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RESEAUX ELECTRIQUES

freinage permettront d'assurer la sécurité de l'éolienne :

- Le premier par la mise en drapeau des pales, c'est-à-dire un freinage aérodynamique : les pales prennent alors une orientation parallèle au vent.
- Le second par un frein mécanique sur l'arbre de transmission à l'intérieur de la nacelle.

L'intérêt d'une éolienne se justifie par la possibilité qu'elle apporte de récupérer l'énergie cinétique du vent et la transforme en énergie mécanique de rotatif, Cette énergie mécanique peut être exploitée principalement de deux manières : Soit pour entraîner par exemple une pompe de relevage d'eau, ou bien pour entraîner une génératrice. [5]

Les element de installation	Les fonction
Foundation	Ancrer et stabiliser l'éolienne dans le sol
Mât	Supporter la nacelle et le rotor.
Nacelle	Supporter le rotor Abriter le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité (génératrice) ainsi que les dispositifs de contrôle et de Security.
Rotor/pales	Capter l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice.
Transformateur	Élever la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau.
Poste de livraison	Adapter les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public.

Tabl.I. 5: Les fonction de élément d'instaletion .

I. Conclusion :

Développement dans le domaine industriel et l'augmentation urgente de l'énergie pour l'élément humain ont conduit le monde à exploiter les ressources naturelles renouvelable et cela ne se reflexe pas positivement sur la vie publique de l'humanité.

L'énergie éolienne est considérée comme l'une des sources d'énergie les plus importantes aujourd'hui mais le raison du caractère aléatoire de la source (**vent**) et du manque de connaissance au moment de son apparition nous avons faire une étude en fonction des attentes pour ce phénomène plusieurs méthodes en utilisant le modèle RNA (réseau de neurone artificiel).

CHAPITRE II : RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS

II. Introduction :

Historiquement les premiers modèles neuromimétiques ont été développés dans la mouvance cybernéticienne. Ils devaient permettre de valider et d'utiliser en robotique les premiers modèles neurobiologiques de la conscience. Les cybernéticiens tendaient en effet vers une conception matérialiste réductrice de la conscience (conception béhavioriste selon laquelle la conscience est issue d'une combinaison de boucles réflexes). L'adaptation informatique des principes organisationnels du cortex devait alors leur permettre de vérifier cette hypothèse.

Les Réseaux de Neurones Artificiels [RNA] sont des réseaux fortement connectés de Processeurs élémentaires, fonctionnant en parallèle. Chaque processeur calcule une sortie unique sur la base des informations qu'il reçoit, toute structure hiérarchique de réseaux est évidemment un réseau. [7]

Dans le but d'établir un modèle informatique empirique visant à prédire l'évolution temporelle de la vitesse de vent qu'est-il indispensable du fait que la production de l'énergie éolienne liée directement à la variation de la vitesse du vent. Plusieurs modèles de prévision ont été développés dans ce sens sur un site. Ils incluent des modèles à base des réseaux de neurones artificiels ; seuls ces modèles ne tenant pas compte de connaissances plus approximatives voir subjectives pour la description des phénomènes naturels.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les réseaux de neurones artificiels (RNA) appliquées à la prédiction de la vitesse de vent. Après une brève introduction, où nous allons rappeler la notion de neurone formel, nous décrivons son architecture et rappelons les propriétés générales des réseaux de neurones artificiels statiques (perceptrons multicouches) à apprentissage supervisé.

II.1. Les neurones biologiques :

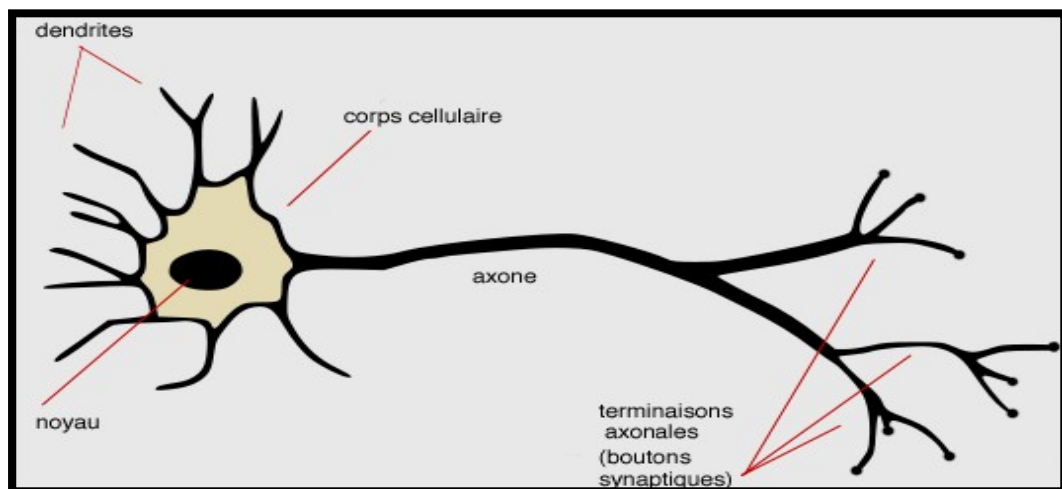


CHAPITRE II : RESEAUX DE NERURONES ARTIFICIELS

Le cerveau humain contient près de 86 milliards de neurones, et il existe environ 200 types de neurones. Dans un neurone nous pouvons distinguer trois régions principales (figure II.1) : le corps cellulaire qui contient le noyau du neurone ainsi que la machine biochimique nécessaire à la synthèse d'enzymes ; les dendrites, qui se divisent comme les branches d'un arbre, recueillent l'information d'autres neurones et l'acheminent vers le corps de la cellule ; l'axone, généralement très long et unique [8].

Il conduit l'information du corps cellulaire vers d'autres neurones avec qui il fait des connexions appelées synapses :

- ❖ Recevoir des signaux en provenance de neurones voisins.
- ❖ Intégrer ces signaux.
- ❖ Engendrer un influx nerveux.
- ❖ Le conduire.
- ❖ Le transmettre à un autre neurone capable de le recevoir.



II.2.

Structure des neurones :

Un neurone est constitué de trois parties :

- ❖ Le corps cellulaire.
- ❖ Les dendrites.
- ❖ L'axone.

II.3. Neurone formel :



CHAPITRE II : RESEAUX DE NERURONES ARTIFICIELS

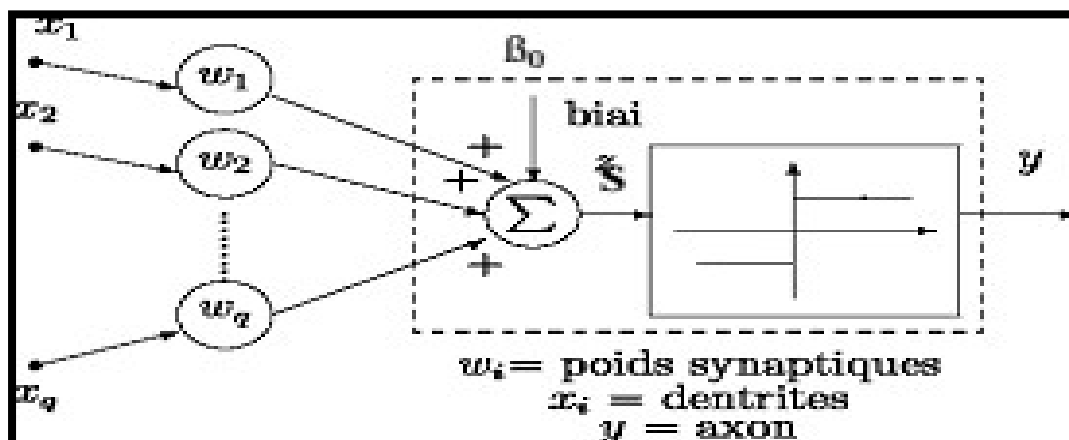
D'une manière très réductrice, un neurone biologique est une cellule qui se caractérise par :

Des synapses, les points de connexions avec les autres neurones, fibres nerveuses. Ou fibres musculaires.

Le noyau qui active la sortie en fonction du stimulus en entrée. Par analogie, le neurone formel voir (figure .II.2) est une fonction non linéaire, paramétrée, à valeurs bornées, il se caractérise par un état interne (Y_i , Y) des signaux d'entrée(x_1, \dots, x_n) et une fonction de transition d'état (f) comme suit :

$$Y_i = h(x_1, \dots, x_n) = f(w_+) = f(w_0 + w'x) \quad (\text{II.1})$$

La fonction de transition est une transformation d'une combinaison des signaux d'entrée. Cette combinaison est déterminée par un vecteur de poids (w_0, \dots, w_n) associé à chaque neurone et dont les valeurs sont estimées dans la phase d'apprentissage, (β_0) étant appelé le biais du neurone, il constitue la mémoire ou la connaissance répartie du réseau [9].



II.4. L'utilisation des réseaux de neurones :

Les réseaux de neurones ont une remarquable faculté à donner un sens, extraire des règles et des tendances à partir de données compliquées, bruitées et imprécises. Ils peuvent s'utiliser pour extraire des modèles et détecter des tendances reposant sur des fonctions mathématiques compliquées qui sont trop difficiles, voire impossible, à modéliser à l'aide de techniques analytiques ou paramétriques traditionnelles.

L'une des propriétés intéressantes des réseaux de neurones est qu'ils savent prévoir avec précision des données qui ne faisaient pas partie des données d'apprentissage, un processus connu sous le nom de généralisation compte tenu de ces caractéristiques et de leur domaine d'application étendu, les réseaux de neurones sont particulièrement bien adaptés à l'application de problématiques concrètes

dans les domaines de la recherche scientifique, commerciale et industrielle. Ci-dessous, un certain nombre de domaines dans lesquels les réseaux de neurones ont été appliqués avec succès [10] :

- ❖ Prédiction
- ❖ Demande de crédits ou de prêts immobiliers
- ❖ Robotique
- ❖ Classification
- ❖ Prétraitements des données
- ❖ Reconnaissance de formes
- ❖ Diagnostiques et suivi médical
- ❖ Traitement du signal

II.5. Topologies des réseaux de neurones artificiels :

On classe généralement les réseaux de neurones en deux catégories : les réseaux faiblement connectés à couches que l'on appelle des réseaux "feedforward" ou réseaux directs et les réseaux fortement connectés que l'on appelle des réseaux "récurrents". Dans ces deux configurations, on retrouve des connexions totales ou partielles entre les couches. La figure Suivante présente les différentes topologies d'un Réseau de Neurones Artificiels [11].

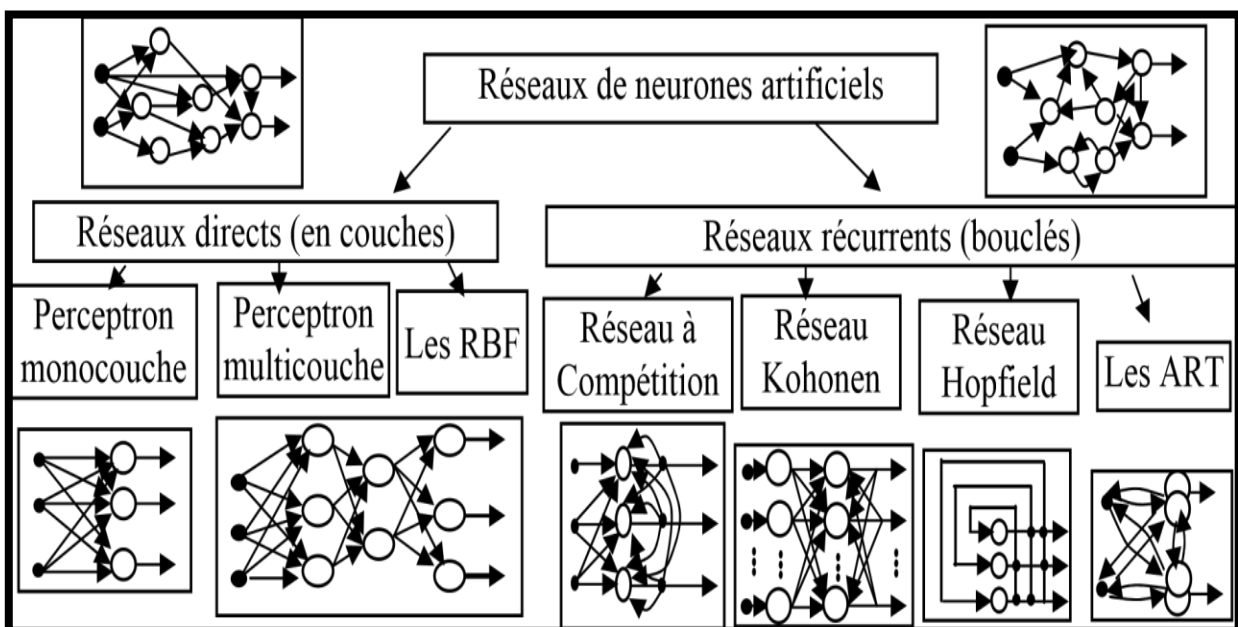


Fig.II. 3: Topologie de réseaux de neurones artificiels

II.6. Structure d'interconnexion des RNA :

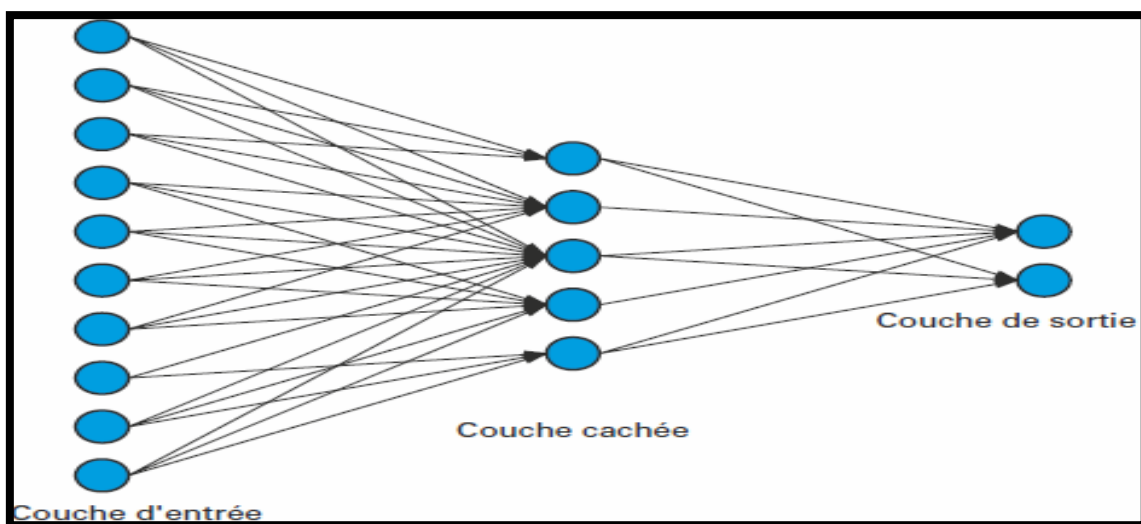
CHAPITRE II : RESEAUX DE NERURONES ARTIFICIELS

Les connexions entre les neurones qui composent le réseau décrivent la topologie du modèle. Elle peut être quelconque, mais le plus souvent il est possible de distinguer une certaine régularité [12].

II.6.1. Réseaux multicouches :

Les neurones sont arrangés par couche. Il n'y a pas de connexion entre neurones d'une même couche et les connexions ne se font qu'avec les neurones des couches avales (figure II.4). Habituellement, chaque neurone d'une couche est connecté à tous les neurones de la couche suivante et celle-ci seulement. Ceci nous permet d'introduire la notion de sens de parcours de l'information (de l'activation) au sein d'un réseau et donc définir les concepts de neurones d'entrée, neurone de sortie. Par extension, on appelle couche d'entrée l'ensemble des neurones d'entrée, couche de sortie l'ensemble des neurones de sortie.

Les couches intermédiaires n'ayant aucun contact avec l'extérieur sont appelées couches cachées.

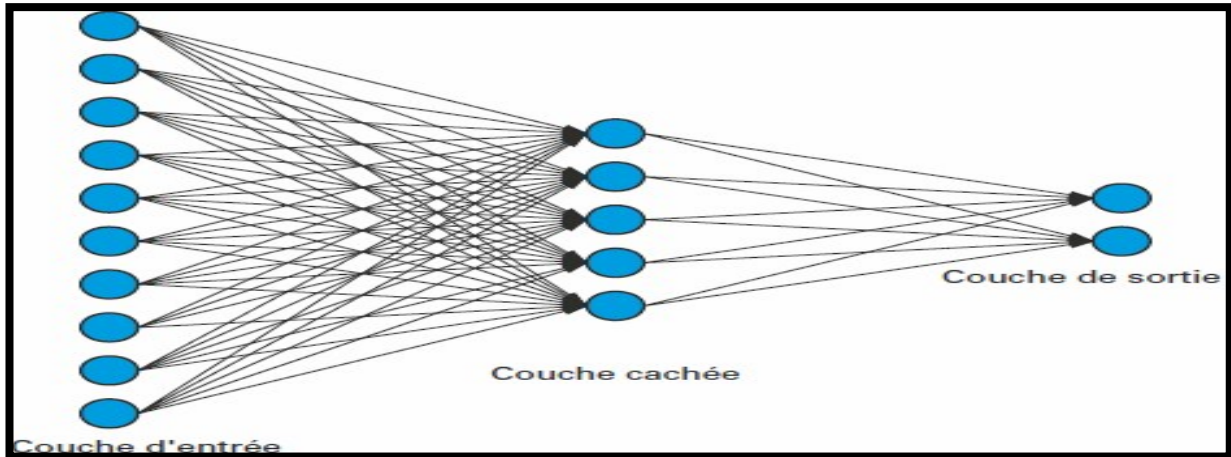


II.6.2. Réseaux à connexions locales :



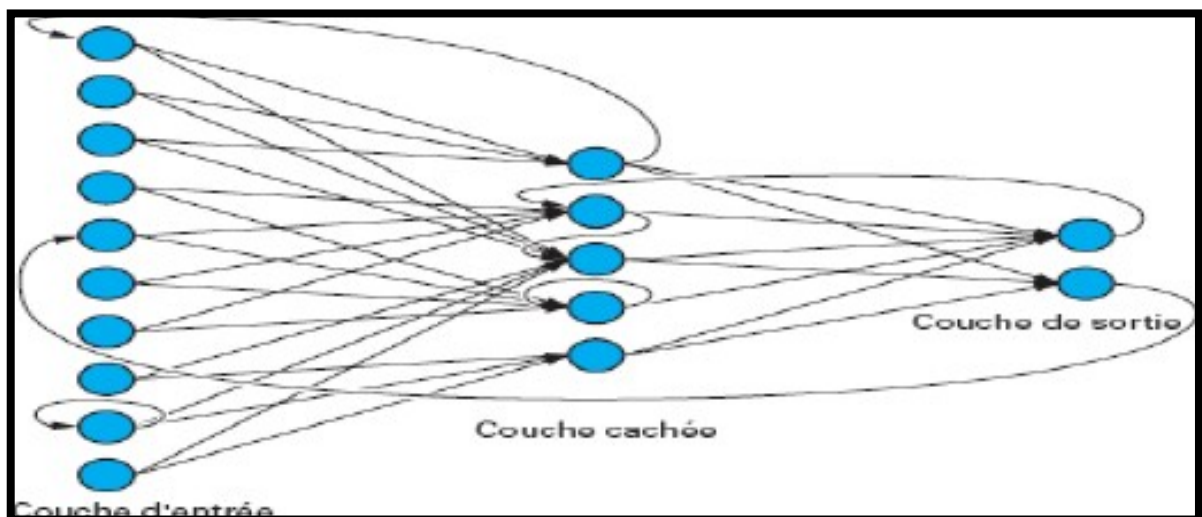
CHAPITRE II : RESEAUX DE NERURONES ARTIFICIELS

Il s'agit d'une structure multicouche, mais qui l'image de la rétine, conserve une certaine topologie, Chaque neurone entre tien des relations avec un nombre réduit et localisé de neurones de la couche avale (figure II.5) les connexions sont donc moins nombreuses de neurones de la couche avale, Les connexions sont donc moins nombreuses que dans le cas d'un réseau multicouche classique.



II.6.3. Réseaux à connexions récurrentes :

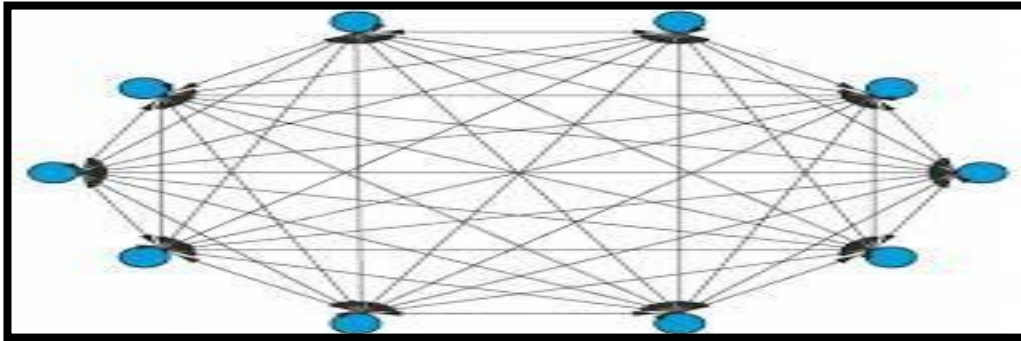
Un réseau de ce type signifie qu'une ou plusieurs sorties de neurones d'une couche aval sont connectées aux entrées des neurones de la couche amont ou de la même couche. Ces connexions récurrentes ramènent l'information en arrière par rapport au sens de propagation défini dans un réseau multicouche.



Les réseaux à connexions récurrentes sont des réseaux plus puissants, car ils sont séquentiels plutôt que combinatoires comme l'étaient ceux décrits précédemment (figure II.6). La rétroaction de la sortie vers l'entrée permet à un réseau de ce type de présenter un comportement temporel.

II.6.4. Réseaux à connexions complexes :

Chaque neurone est connecté à tous les neurones du réseau y compris lui-même, c'est la structure d'interconnexion la plus générale.



II.7. Architecture des RNA :

L'architecture d'un réseau de neurones définit son fonctionnement et joue un rôle important dans son comportement. Elle est en fonction de ses couches et de la structure des connexions de ses neurones ces paramètres permettent de distinguer les différentes classes et/ou types d'architecture neurones [13].

II.7.1. Réseaux statiques :

Ce type de réseaux est organisé généralement en couches de neurones. Chaque neurone d'une couche reçoit ses entrées à partir des neurones de la couche précédente ou tout simplement de l'entrée du réseau. Dans tels réseaux il n'existe pas de feed-back (boucles de retour d'informations). Le traitement des données se fait en sens unique et le flux d'informations circule directement de la couche d'entrée à la couche de sortie ; le traitement est donc réalisé en boucle ouverte. Ces réseaux peuvent être utilisés pour les problèmes de classification ou d'approximation des fonctions.

II.7.2. Réseaux dynamiques :

Les réseaux dynamiques ou bien récurrents, sont les réseaux pouvant comporter des boucles (feed-back) entre les neurones. En général, la sortie de chaque neurone peut être envoyée vers

l'entrée de tous les autres neurones du réseau. Ainsi, ces boucles ramènent l'information en provenance de la couche de sortie sur la couche d'entrée simultanément avec le signal d'entrée présent au même instant.

Un réseau dynamique peut donner une sortie différente en lui présentant la même entrée à des instants différents, contrairement aux réseaux statiques qui donnent la même sortie pour une même entrée.

Au début, ces réseaux étaient souvent utilisés pour les problèmes de classification et de mémorisation. Actuellement, dans plusieurs travaux la structure interne dynamique de ces réseaux est exploitée pour l'identification ou la commande des systèmes dynamiques.

II.7.3. Réseaux auto-organisés :

Les réseaux de neurones auto-organisés sont des réseaux qui changent leurs structures internes pendant l'apprentissage. Ainsi les neurones se regroupent typologiquement suivant la représentation des exemples. Ces réseaux sont des dérivées des modèles de canton Bâle.

II.8. Modélisation et équation des réseaux :

Dans le cas général, le réseau utilisé est un réseau multi couches, comportant une couche d'entrée, une couche de sortie et un certain nombre de couches dites cachées [14].

Ces couches cachées constituent de véritable représentation interne des problèmes le neurone utilisé dans le réseau est fondamentalement de même nature, on applique une fonction à la somme pondérée de ses entrées, cette fonction est la fonction d'activation. Dans le réseau de neurones, «L» couches (couches cachées), «N» couches d'entrées et «M» couches de sorties, elles sont données par les équations suivantes :

$$O_{pi} = f(S_{pi}) \quad (\text{II.2})$$

avec :

$$S_n = \sum w_{ij} \cdot O_{ij} \quad (\text{II.3})$$

Telle que

O_{pi} : sortie de neurone i pour l'exemple p .

S_{pi} : la sommation pondérée du neurone i pour l'exemple p .

W_{ij} : les coefficients synaptiques (poids) de la j'ème entrée du neurone i.

II.8.1. Réseaux de rétro-propagation :

La rétro-propagation est basée sur l'adaptation des coefficients synaptique (w) dites encore des coefficients de pondération dans le but de minimiser une fonction de cout (performance) donnée par :

$$E(w) = \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I (T_{pi} - O_{pi})^2 \quad (\text{II.4})$$

$$E_p(w) = \sum_{i=1}^I (T_{pi} - O_{pi})^2 \quad (\text{II.5})$$

Avec :

$E(w)$: est la somme de tous les erreurs commises sur les p neurones de sortie ; $E_p(w)$: est l'erreur quadratique moyenne commises sur tous les neurones de sortie p , T_{pi} : représente la valeur de sortie désirée (Target) du réseau ;

O_{pi} : représente la valeur de sortie calculée (output) du réseau.

La minimisation de l'erreur $E(w)$ s'effectue par une approximation d'une descente de gradient en utilisant la règle d'apprentissage connue sous le nom de la « règle delta » de Windrow-Hoff [14]. Elle a pour but d'appliquer une séquence d'ajustement correctif des poids synaptiques, cet ajustement est conçu pour faire de telle sorte que la sortie du réseau de neurones (output) soit très proche de la sortie désirée (Target).

II.8.1.1. Adaptation des poids :

Le processus d'adaptation (ajustement, mise en forme) des coefficients synaptique, se réalise suivant la méthode du gradient basée sur la formule itérative suivante :

$$W_{ij}(n+1) = W_{ij}(n) + \Delta W_{ij}(\text{époque}) \quad (\text{II.6})$$

$$\Delta W_{ij} = \eta \cdot \frac{\partial E_p}{\partial W_{ij}} \quad (\text{II.7})$$

$W_{ij}(n+1)$: la nouvelle valeur du poids (à l'itération $n+1$) ;

$W_{ij}(n)$: la valeur du poids (à l'itération n) ;

ΔW_{ij} : la correction effectuée sur le poids W_{ij} , elle exprimé par la dérivée partielle de

$E(w)$ par rapport à chaque poids du réseau.

η : Représente d'apprentissage, il influe sur la vitesse de convergence du réseau.

CHAPITRE II : RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS

Pour le calcul de la dérivée partielle de l'erreur $E(w)$ par rapport à chaque poids du réseau, on utilisant la règle de delta généralisée. Elle est donnée par la relation suivante :

$$\Delta p W_{ij} = n \cdot O_{pi} \quad (II.8)$$

Avec :

O_{pi} : sortie du neurone j pour un exemple p .

$$\delta_{pi} = - (t_{pi} - O_{pi}) \quad (II.9)$$

Pour calculer cette dérivation :

$$\delta_{pi} = - \sum_k \delta_{pk} \cdot W_{ki} \quad (II.10)$$

Le deuxième facteur de l'équation précédente :

$$= f'(\delta_{pi}) \quad (II.11)$$

Où :

$f'(S_{pi})$: Est la dérivée de la fonction d'activation du neurone i évaluée à S_{pi} .

Pour calculer le premier facteur, il existe deux cas :

-Supposant que le neurone U_i est un neurone de sortie du réseau, dans ce cas, il parait de la définition de E_p que :

$$= - (t_{pi} - O_{pi}) \quad (II.12)$$

Substitution les deux facteurs dans l'équation (II.8) nous obtenons :

$$\delta_{pi} = (t_{pi} - O_{pi}) f'(S_{pi}) \quad (II.13)$$

Pour tout neurone de sortie U_i

-Si U_i n'est pas un neurone de sortie, nous utilisons la décomposition pour écrire :

$$\sum_k (\delta_{pk} \cdot W_{ki}) = \sum_k (W_{ki} \cdot \delta_{pk}) \quad (II.14)$$

Dans ce cas, substituons les deux facteurs dans l'équation (II.8) nous obtenons :

$$\delta p_i = f'(S p_i) \sum (\delta p_k * W_{ki}) \quad (\text{II.15})$$

Où : U_i est un neurone appartenant aux couches cachées

Les équations (II.13) et (II.14) présentent un processus récursif pour le calculer des δ de tout neurone dans le réseau liée à l'équation (II.10), Il constitue «la règle delta généralisée» pour un réseau statique, aussi pour le neurone non linéaire. Pour minimiser l'erreur totale sur l'ensemble d'entraînement, les poids du réseau peuvent être ajustés par la présentation de l'ensemble d'apprentissage en entier. La variation des poids $\Delta p W_{ij}$

(n) peut alors s'écrire ainsi :

$$\Delta p W_{ij}(n) = \eta. \quad (\text{II.16})$$

II.8.1.2. Les étapes d'algorithme de rétro-propagation :

L'algorithme de rétro-propagation est représenté comme suit :

Etape 01 : Initialiser les poids W_{ij} et les seuils internes des neurones à de petites valeurs aléatoires.

Etape 02 : présenter l'ensemble des couches (entrée, sortie désirée).

Etape 03 : présenter la première couche (entrée, sortie désirée).

Etape 04 : calculer :

1- La somme des entrées des neurones de la couche cachée par l'équation (II.4)

2- Les sorties des neurones de la couche cachée par l'équation (II.2)

3- La somme des entrées de la couche de sortie par l'équation (II.3).

4- Les sorties de réseau par l'équation (II.2).

Etape 05 : calculer

1- Les termes de l'erreur pour les neurones de la couche de sortie par l'équation (II.13).

2- Les termes de l'erreur pour les neurones de la couche cachée par l'équation (II.15).

Etape 06 : calculer la variation des poids par l'équation (II.8).

Etape 07 : calculer l'erreur E_p par l'équation (II.5).

CHAPITRE II : RESEAUX DE NERURONES ARTIFICIELS

Etape 08 : présenter un autre couple (entrée, sortie désirée) et aller à l'étape quatre.

Etape 09 : Si tout l'ensemble de couple est présenté, calculer la variation total de poid par époque, en utilisant l'expression :

$$\Delta W_{ij}^{(\text{époque})} = \quad (II.17)$$

Etape 10 : ajuster les poids par l'équation (II.10).

Etape 11 : calculer l'erreur totale par l'équation (II.8).

Etape12 : comparer l'erreur totale avec une erreur prédéterminée (Epr) [E-ε]. Si la condition est vérifiée aller à l'étape 13. Si non aller à l'étape 03.

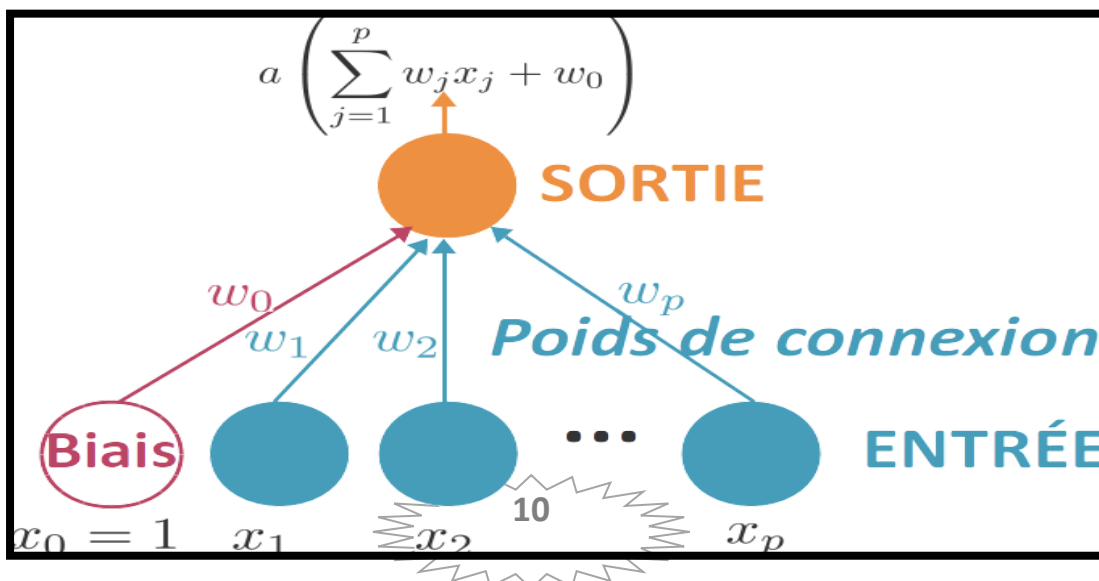
Etape 13 : fin

II.8.2. Réseaux propagation vers l'avant « Feed-Forward » :

Un réseau de neurones "Feed-forward" appelé aussi réseau non bouclé ou unidirectionnels ou statique est présenté par un ensemble de neurones connectés entre eux telle que l'information circulant des entrées vers les sorties sans retour en arrière (dans un sens unique). Le calcul de la sortie se fait en propageant les calculs de la gauche vers la droite, Ces architectures sont les plus couramment utilisées [15].

II.8.2.1. Perceptron monocouche SLP :

Le perceptron est un réseau très simple grâce à sa composition d'une couche d'entrée et d'une couche de sortie sans avoir de couche cachée. Sa structure est montrée dans la (figure II.8), Différents neurones sont arrangés dans une couche d'entrée et ils sont connectés avec chaque neurones de la couche de sortie par l'intermédiaire des poids [15].



II.8.2.2. Perceptron multicouches PMC :

Le PMC est une extension du perceptron monocouche qui dispose d'un nombre de couches quelconque et un nombre de neurones (ou d'entrées) par couche également quelconque. Les neurones y sont arrangés en couches successives : la première couche qui forme le vecteur des données d'entrée est appelée couche d'entrée tandis que la dernière couche qui produit les résultats est appelée couche de sortie. Toutes les autres couches qui se trouvent au milieu sont appelées couches cachées [15]. La (figure II.9) donne un exemple d'un réseau contenant une couche d'entrée, deux couches cachées et une couche de sortie. Les neurones sont reliés entre eux par des connexions pondérées. Les neurones de la couche d'entrée sont connectés uniquement à la couche suivante tandis que les neurones des couches cachées ont la particularité d'être connecté à tous les neurones de la couche précédente et de la couche suivante, par contre il n'y a pas de connexions entre les neurones elle-même dans n'importe quelle couche [16].

Le choix du nombre de couches cachées dépend généralement de la complexité du problème à résoudre, en théorie une seule couche cachée peut être suffisante pour résoudre un problème donné mais il se peut que le fait de disposer de plusieurs couches cachées permette de résoudre plus facilement un problème complexe [12].

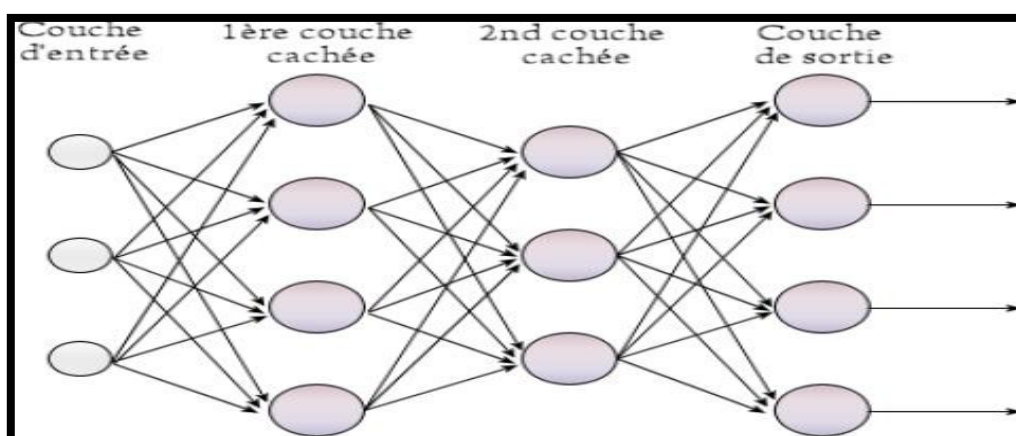


Fig.II. 9: Exemple d'un réseau de type perceptron

II.9. Apprentissage :

La capacité à apprendre un trait fondamental de l'intelligence, d'un autre côté ce que veut dire l'apprentissage est parfois difficile à décrire, le processus d'apprentissage, dans le contexte des

réseaux de neurones peut être vu comme un problème ajustement et d'adaptation de l'architecture et des poids du réseau de neurones de façon que le RNA exécute efficacement une tâche spécifique. Au lieu de spécifier un ensemble de règles, les réseaux de neurones apprennent automatiquement à partir de la collection d'exemples, et c'est ce qui les rend très attractives [11].

Il y a trois types de paradigmes d'apprentissage :

- ❖ Supervisé
- ❖ Non supervisé
- ❖ Hybride

II.9.1.L'apprentissage supervisé :

C'est actuellement le mode d'apprentissage le plus couramment utilisé. Son principe est élémentaire : on soumet au réseau à un grand nombre d'exemples pour lesquels l'entrée commise par le réseau.

Le plus répandu des algorithmes d'apprentissage supervisé est l'algorithme de rétro propagation du gradient d'erreur qui, appliqué aux réseaux multi couches.

II.9.1.1. La règle d'apprentissage du perceptron un exemple d'apprentissage supervisé :

La règle de Hebb ne s'applique pas dans certain cas, bien qu'une solution existe (cf exercice du paragraphe précédent). Un autre algorithme d'apprentissage a donc été proposé, qui tient compte de l'erreur observée en sortie.

L'algorithme d'apprentissage du perceptron est semblable à celui utilisé pour la loi de Hebb.

Les différences se situent au niveau de la modification des poids.

- 1- Initialisation des poids et du seuil S à des valeurs (petites) choisies au hasard.
- 2- Présentation d'une entrée $E1 = (e1, \dots en)$ de la base d'apprentissage.
- 3- Calcul de la sortie obtenue x pour cette entrée :

$$a = \quad (II.18)$$



CHAPITRE II : RESEAUX DE NERURONES ARTIFICIELS

$$x = \text{signe}(a) \text{ (si } a \geq 0 \text{ alors } x = +1 \text{ sinon } x = -1) \quad (\text{II.19})$$

4- Si la sortie x du perceptron est différente de la sortie désirée d pour cet exemple d'entrée E alors modification des poids (μ le pas de modification) :

$$W_i(t+1) = W_i(t) + \mu \cdot ((d - x) \cdot e_i) \quad (\text{II.20})$$

Rappel : $d = +1$ si E est de la classe 1, $d = -1$ si E est de la classe 2 et $(d - x)$ est une estimation de l'erreur.

5- Tant que tous les exemples de la base d'apprentissage ne sont pas traités correctement (i.e. modification des poids), retour à l'étape 2.

Exemple : de fonctionnement de l'algorithme d'apprentissage du perceptron : Base d'exemples d'apprentissage :

e1	e2	d	
1	1	1	(1)
-1	1	-1	(2)
-1	-1	-1	(3)
1	-1	-1	(4)

Tabl.II. 1: Les données de La valeur d'activation

- 1- Conditions initiales: $W_1 = -0.2$, $W_2 = +0.1$, $S = 0$, ($\mu = +0.1$)
- 2- $a(1) = -0.2 + 0.1 \cdot -0.2 = -0.3$
- 3- $x(1) = -1$ (la sortie désirée $d(1) = +1$, d'où modification des poids)
- 4- $W_1 = -0.2 + 0.1 \cdot (1 - (-1)) \cdot (+1) = 0$
 $W_2 = +0.1 + 0.1 \cdot (1 - (-1)) \cdot (+1) = +0.3$
- 2- $a(2) = +0.3 - 0.2 = +0.1$
- 3- $x(2) = +1$ Faux
- 4- $W_1 = 0 + 0.1 \cdot (-1 - 1) \cdot (-1) = +0.2$
 $W_2 = +0.3 + 0.1 \cdot (-1 - 1) \cdot (+1) = +0.1$
- 2-3- $a(3) = -0.2 - 0.1 \cdot -0.2 = -0.5$ Ok

2-3- $a(4) = +0.2 - 0.1 - 0.2 = -0.1$ Ok

2-3- $a(1) = +0.2 + 0.1 - 0.2 = +0.1$ Ok

2-3- $a(2) = -0.2 + 0.1 - 0.2 = -0.1$ Ok

5- Tous les exemples de la base ont été correctement traités, l'apprentissage est terminé.

Le Perceptron réalise une partition de son espace d'entrée en 2 classes (1 et 2) selon la valeur de sa sortie (+1 ou -1). La séparation de ces deux zones est effectuée par un hyperplan (fig. 3). L'équation de la droite séparatrice est :

$$w_1.e_1 + w_2.e_2 - S = 0$$

II.9.2.L'apprentissage non supervisé :

Contrairement aux modes supervisés, seule une base d'entrée est fournie au réseau. Celui-ci doit déterminer lui-même ses sorties en fonction des similarités détectées entre les différentes entrées, c'est-à-dire en fonction d'une règle d'auto-organisation, Il explore la structure des données, ou encore la corrélation entre les modèles d'entrée et les organise à partir de cette corrélation en des catégories.

II.9.2.1. -La loi de Hebb, un exemple d'apprentissage non supervisé :

La loi de Hebb (1949) s'applique aux connexions entre neurones, comme le représente la figure II.23.



Fig.II. 10: Le neurone simple

Elle s'exprime de la façon suivante

"Si 2 cellules sont activées en même temps alors la force de la connexion augmente".

La modification de poids dépend de la Co activation des neurones pré synaptique et post synaptique, ainsi que le montre la table.II.2. x_i et x_j sont respectivement les valeurs d'activation des neurones i et j , w_{ij} (dérivée partielle du poids) correspond à la modification de poids réalisée.

CHAPITRE II : RESEAUX DE NERURONES ARTIFICIELS

x_i	x_j	∂w_{ij}
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	+

Tabl.II. 2: Les valeurs d'activation

La loi de Hebb peut être modélisée par les équations suivantes ($w(t+1)$ est le nouveau poids, $w_{ij}(t)$ l'ancien) :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + w_{ij}(t) \quad (\text{II.21})$$

$$w_{ij}(t) = x_i \cdot x_j \quad (\text{II.22})$$

(La Co activité est modélisée comme le produit des deux valeurs d'activation)

L'algorithme d'apprentissage modifie de façon itérative (petit à petit) les poids pour adapter la réponse obtenue à la réponse désirée. Il s'agit en fait de modifier les poids lorsqu'il y a erreur seulement.

1/Initialisation des poids et du seuil S à des valeurs (petites) choisies au hasard.

2/ Présentation d'une entrée $E1 = (e_1, \dots, e_n)$ de la base d'apprentissage.

3- Calcul de la sortie obtenue x pour cette entrée :

$a =$ (la valeur de seuil est introduite ici dans le calcul de la somme pondérée)

$x = \text{signe}(a)$ (si $a > 0$ alors $x = +1$ sinon $a = 0$ alors $x = -1$)

4-Si la sortie x est différente de la sortie désirée d_l pour cet exemple d'entrée $E1$ alors modification des poids (μ est une constante positive, qui spécifie le pas de modification des poids) :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \mu \cdot (x_i \cdot x_j) \quad (\text{II.23})$$

5- Tant que tous les exemples de la base d'apprentissage ne sont pas traités correctement (i.e. modification des poids), retour à l'étape 2.

Exemple d'application de l'algorithme d'apprentissage de Hebb :

Choisissons pour les neurones un comportement binaire. Les entrées e_1 et e_2 sont considérées comme des neurones (fig.II.11).

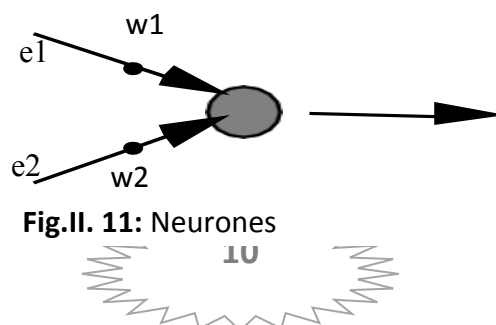


Fig.II. 11: Neurones

CHAPITRE II : RESEAUX DE NERURONES ARTIFICIELS

Nous allons réaliser l'apprentissage sur un problème très simple. La base d'apprentissage est décrite par la table :

e1	e2	x	
1	1	1	(1)
1	-1	1	(2)
-1	1	-1	(3)
-1	-1	-1	(4)

Tabl.II. 3: La valeur d'activation

1/ Conditions initiales : $\mu = +1$, les poids et le seuil sont nuls.

2/ Calculons la valeur de x pour l'exemple (1) :

$$3/ a = w1.e1 + w2.e2 - S = 0.0. 1 + 0.0. 1 - 0.0 = 0 \quad a \leq 0 \Rightarrow x = -1$$

4/ La sortie est fausse, il faut donc modifier les poids en appliquant :

$$w1 = w1 + e1.x = 0.0 + 1.1 = 1$$

$$w2 = w2 + e2.x = 0.0 + 1.1 = 1$$

2/ On passe à l'exemple suivant (2) :

$$3/ a = 1.1 + 1.-1 - 0.0 = 0 \quad a \leq 0 \Rightarrow x = -1$$

4/ La sortie est fausse, il faut donc modifier les poids en appliquant :

$$w1 = 1 + 1.1 = 2$$

$$w2 = 1 + 1.-1 = 0$$

.../ **L'exemple** suivant (3) est correctement traité : $a = -2$ et $x = -1$ (la sortie est bonne).

On passe directement, sans modification des poids à l'exemple (4). Celui-ci aussi est correctement traité. On revient alors au début de la base d'apprentissage : l'exemple (1). Il est correctement traité, ainsi que le second (2). L'algorithme d'apprentissage est alors **terminé** : toute la base d'apprentissage a été passée en revue sans modification des poids.

CHAPITRE II : RESEAUX DE NERURONES ARTIFICIELS

Question : Soit le réseau composé de 4 neurones d'entrée et d'un neurone de sortie ($w_1 = w_2 = w_3 = w_4 = S = 0$) et la base d'apprentissage dans le tableau suivant :

e1	e2	e3	e4	x
1	-1	1	-1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	-1	-1
1	-1	-1	1	-1

Tabl.II. 4: la valeur d'activation

Recherchez les valeurs de poids qui résolvent le problème.

Réponse : cet algorithme d'apprentissage ne permet pas de trouver une solution à ce problème. Nous sommes capables d'exprimer une combinaison des activations en corrélation avec la sortie. Pourtant, il existe des solutions comme par exemple ($w_1 = -0.2$, $w_2 = -0.2$, $w_3 = 0.6$, $w_4 = 0.2$). Un algorithme de calcul efficace pour ce problème est l'apprentissage sur le modèle du perceptron abordé au chapitre suivant.

Remarque : Il existe une possibilité de calculer les valeurs des connexions à partir des exemples, sans utiliser l'algorithme itératif. Si l'on initialise les poids à zéro et que l'on présente les exemples de la base d'apprentissage, la valeur des poids à l'issue de l'apprentissage est :

$$w_{ij} = \sum_l x_{il} \cdot x_{jl} \quad (\text{II.24})$$

Où l est l'indice de l'exemple dans la base d'apprentissage

II.9.3.L'apprentissage hybride :

Il combine l'apprentissage supervisé et non supervisé. Dans de nombreux problèmes on ne dispose pas de l'information nécessaire à la construction d'une base d'apprentissage complète. On ne dispose souvent que d'une information qualitative permettant l'évaluation de la réponse calculée, sans pour autant connaître la réponse la plus adaptée.

II.10. Algorithme d'apprentissage :

Pour chaque type de réseaux de neurones artificiels, il existe des méthodes ou des algorithmes d'apprentissage permettant une modification des poids et de biais.

On retrouve plusieurs algorithmes d'apprentissage tels que l'algorithme du perceptron, la règle d'apprentissage de Hebb, la règle d'apprentissage de Widrow-Hoff (règle Delta) ainsi que des algorithmes généralisés de Widrow-Hoff pour les réseaux multicouches (rétro propagation du gradient de l'erreur...).

II.11. Généralisation :

L'implémentation de l'algorithme de généralisation s'appuie sur la programmation de la première étape de l'apprentissage qui est la propagation des vecteurs d'entrée. En fixant la structure du réseau et leurs paramètres (poids, biais, fonction d'activation, nombre de couches cachées, le nombre de neurones dans les couches cachées) une fois son apprentissage achevé puis en testant le réseau sur des données qui n'ont pas servi à l'apprentissage.

Nous avons donc, pour le programme de généralisation, les paramètres suivants :

- ❖ La base d'exemples à prédire.
- ❖ Les poids, les biais, la fonction d'activation à celle obtenu par apprentissage.
- ❖ La structure finale du réseau après l'apprentissage.

Les sorties de généralisation représentent les sorties (vitesse de vent dans notre cas) des exemples évaluées à partir de la fonction de décision. Dans la phase d'apprentissage par les réseaux de neurones, on découple la recherche de l'architecture de la détermination de ses paramètres ; il faut chercher les paramètres de plusieurs structures afin de choisir celle qui garantit le meilleur pouvoir de généralisation. Ceci implique la partition de la base de données en base d'apprentissage et base de test.

II. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons essayé de donner en bref une description sur les réseaux de neurones artificiels, les différents types d'architectures et de modèle qui existent. Nous avons aussi présenté une définition de l'apprentissage des réseaux de neurones, puis une description générale de l'algorithme de rétro-propagation et réseaux propagation, les domaines d'utilisation des réseaux de neurones.

Suivant consacré totalement à la simulation, est dédié à l'évaluation des performances de la technique étudiée. L'objectif, vise l'étude et la contribution de cette méthode en vue de leur application dans le domaine de la prévision de la vitesse de vent.

CHAPITRE III

SIMULATION NUMERIQUE

III. Introduction :

Dans ce troisième chapitre, nous allons présenter comment et avec quels appareils il est possible de mesurer le vent et les deux lois utilisées pour l'extrapolation verticale de la vitesse du vent. Ensuite, nous allons par la suite présenter la distribution de Wei bull avec ses deux paramètres utiles pour estimer le potentiel éolien d'une région, à savoir la vitesse moyenne, nous allons donner la variation de la vitesse de vent durant un mois (07/09/2020_06/102020) site **canton Bâle-Ville suisse**, le résultat de valeurs mensuelle des sites seront présentés et commentés. À la fin de cette partie nous allons présenter la simulation des vitesses avec l'utilisation du logiciel MATLAB 14 pour créer un modèle de prédiction les réseaux de neurones **RNA**.

III.1. Extrapolation vertical de la vitesse du vent :

La vitesse de vent, détermine la quantité d'énergie produite dans une centrale éolienne. Donc, il est impératif de prendre des mesures adaptées à la hauteur de l'éolienne. La vitesse du vent augmente selon la hauteur du mât de l'aérogénérateur. L'expression. III .1 décrit la vitesse du vent à une hauteur Z_{ref} . Où l'appareil de mesure est placé, en fonction de la vitesse de référence U_{ref} prise à une hauteur de référence Z_{ref} . de ce relation, il est évident que l'importance de l'aérogénérateur qu'il soit placé à une hauteur au maximum possible où la vitesse du vent est plus importante [17].

(III.1)

- La constante α est donnée par la relation :

$$\alpha_c = 0.096(Z_0) + 0.016(\log(Z_0))^2 + 0.24 \quad (III.2)$$

- Où Z_0 est la rugosité du sol.

III.1.1. La loi logarithmique :

La loi logarithmique dépend que de la longueur de la rugosité Z_0 et il est valable pour un profil près du sol, à une hauteur inférieure à 50m, pour des terrains relativement plats. Elle s'écrit comme suit :

(III.3)



Avec :

Z1 : Hauteur de mesure

Z2 : Hauteur de l'éolienne

V1 : Vitesse mesuré au niveau de la hauteur de mesure

V2 : Vitesse qu'on veut déterminer

III.1.2. La loi de puissance :

La loi de puissance qui est donnée par l'équation (4), ne dépend que de l'exposant α qui représente l'exposant de friction.

(III.4)

Les valeurs du coefficient de friction sont résumées dans le tableau .III.1, en, en fonction du type du terrain et de sa rugosité, où l'exposant varie de 0.1 pour des terrains plats à 0.4 pour des zones urbaines [18].

Type de terrain	Coefficient de friction
Lacs, océans et terrains lisses	0,10
Prairies	0,15
Cultures hautes avec haies et arbustes	0,20
Terrestresboisées	0,25
Petites villes avec arbres et arbustes	0,30
Zones urbaines avec gratte-ciels	0,40

Tabl.III. 1: Valeurs du coefficient de friction pour différents types de terrain [18].

III.2. Potentiel éolien :

Le potentiel éolien dans une région donnée se calcule à partir des distributions de la vitesse moyenne. Lorsqu'on dispose de mesures de vent, l'information peut être représentée sous forme d'histogramme. Ce dernier illustre la variation de la fréquence relative des vitesses du vent. La modélisation de la distribution de la vitesse du vent se fait à partir de plusieurs modèles présents dans la littérature qui sont utilisés pour ajuster les distributions de la vitesse du vent sur une période de temps. Le modèle le plus utilisé pour caractériser la distribution des vitesses du vent est la

distribution de probabilité de Weibull. La vitesse moyenne du vent est calculée à partir de l'intégrale du produit de la vitesse de vent et de la fonction de la distribution de Weibull [18]. Elle s'écrit sous la forme suivante :

(III.5)

En remplaçant (V) par sa formule on obtient :

(III.6)

En arrangeant cette formule, la vitesse moyenne du vent en fonction des deux paramètres de Weibull peut s'écrire sous la forme suivante [18] :

Avec : (Γ) la fonction gamma.

(III.7)

III.3. Rugosité des sols :

La longueur de rugosité est la hauteur au-dessus du sol Z_0 du plan où s'applique la condition d'adhérence, c'est-à-dire où le vecteur vent moyen est égal au vecteur nul. Elle dépend, pour chaque direction, de l'homogénéité du terrain, du type d'obstacles et de la distance sur laquelle ces deux conditions s'appliquent. Il peut avoir des variations significatives de la longueur de rugosité selon les saisons, dues par exemple aux feuilles ou à une couverture neigeuse. Une des caractéristiques d'un site de mesure du vent est donc sa longueur de rugosité dans chaque direction. Le calcul exact de la longueur de rugosité étant difficile, le Tableau III-2 fournit une classification qui peut être utilisée.

Où pour évaluer un potentiel éolien d'un endroit donné on se réfère à deux notions :

- la classe de rugosité
- la longueur de rugosité

Une rugosité forte freine considérablement la vitesse du vent, par exemple une forêt ou un paysage urbain freinera beaucoup plus le vent qu'un paysage de plaine. La surface de la mer a une rugosité encore plus faible et n'a que très peu d'influence sur l'écoulement de l'air, alors que l'herbe longue, les buissons et les arbrisseaux freinent considérablement le vent. Les paysages ayant une forte rugosité sont rattachés à la classe de rugosité 3 ou 4 tandis que la surface de la mer est classée 0. Comme mentionné dans le Tableau. III.2.

Type de terrains	Description	Rugosité Z_0 (m)
Plat	Plage, glace, neige et océan	<0.005
Ouvert	Aéroports, terre vide de récolte, herbe basse.	0 .04
Rugueux	Rangée de grandes récoltes et petite forêt.	0.25
TrèsRugueux	Forêts et vergers	0.05
Fermé	Villages et banlieues	1
Ville	Centres villes, espaces ouverts dans la forêt.	>2

Tabl.III. 2: Classification des types terrains selon la longueur et la classe de rugosité. [18]

III.4. Mesure de la vitesse du vent :

III.4.1. L'anémomètre :

L'anémomètre est un instrument qui nous indique la vitesse du vent. L'anémomètre est composé de coupelles en forme de demi-sphères vides orientées dans le même sens qui tournent librement autour d'un axe. Dans les anémomètres modernes, un système électronique permet alors de calculer le nombre de tours effectués par les coupelles dans un certain temps. La vitesse du vent apparaît alors sur un petit écran. On peut très bien connaître la vitesse du vent seulement de façon mécanique aussi .L'anémomètre a été inventé par l'architecte italien Léon Batista Alberti en 1450[19].

III.4.2. Unités de mesure :

En kilomètres par heure (km/h) ou en mètres par seconde (m/s) parmi les types existants et les plus utilisés :

III.4.2.1. L'anémomètre à couple :

C'est le plus simple (fig. III .1), son principe de fonction est basé sur rotation des assiettes sous l'effet du vent est intense plus la vitesse de rotation augmente [17].



III.4.2.2. L'anémomètre sonique :

Il est le plus sophistiqués pour sa précision (Fig. III .2). Son principe de fonction est basé sur la dépendance de la vitesse de propagation des ultrasons par rapport à la vitesse du vent. Il permet d'effectuer des mesures plus détaillées et précises, telles que les trois composantes de vitesse [17].

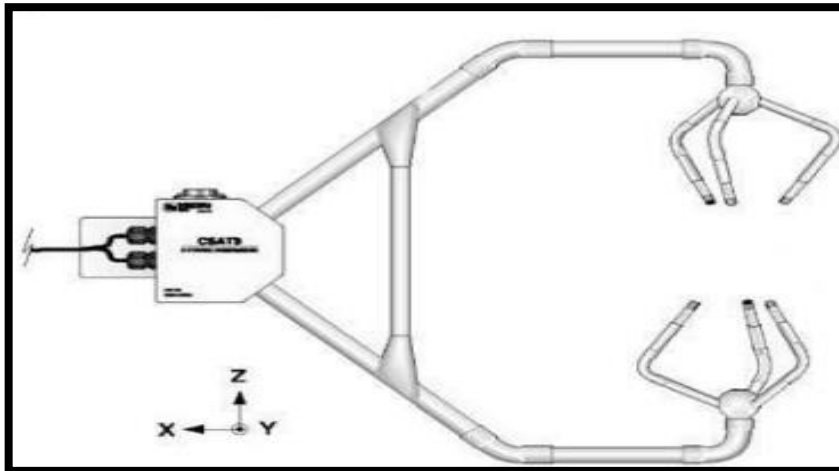


Fig.III. 2: Anémomètre sonique.

Par ailleurs, pour connaître la direction des vents on se sert d'une girouette, souvent associée à l'anémomètre (Figure .III .3) lorsque le vent change de direction, il pousse sur la grosse partie de la flèche (l'arrière) jusqu'à ce qu'elle soit alignée avec le vent (parallèle au vent). Cela a pour conséquence de faire pointer la flèche dans la direction d'où provient le vent. On se réfère alors aux quatre principaux points cardinaux pour juger de la direction d'où vient le vent. On place habituellement l'anémomètre à 10 m du sol [18].

Ainsi, la direction du vent est exprimée comme un point de la boussole d'où le vent souffle. De l'air se déplaçant du Sud-ouest au Nord-est s'appelle un vent de Sud-ouest à noter que la direction peut également être exprimée en degrés [18].

III.4.3. Utilisation du LIDAR et SODAR



Fig .III. 27 : Une girouette

Le lidar, acronyme de « Light Detection And Ranging » (en français « détection et télémétrie par ondes lumineuses ») est un instrument de télédétection active qui mesure le temps aller-retour d'impulsion lumineuses laser lors de leur déplacement entre le contour et la cible. Il fonctionne sur le même principe que le RADAR (Radio Detection And Ranging) ou le SODAR (Sound Détection And Ranging), mais il utilise pour l'émission une onde électromagnétique (laser) de l'ultraviolet à l'infrarouge [20]. Le lidar peut se décomposer en 3 parties : le module d'émission, le module de réception et la chaîne électronique d'acquisition.

Site	Longitude	altitude (m)	Latitude	Zone (km)	Densités (MW/km)	Total MW pour site
Bâle	7.59459	261	47.5591	23.91	14.4	839.7

III.5. Série temporelle :

Une série temporelle ou série chronologique est une suite de valeurs numériques représentant l'évolution d'une quantité spécifique au cours du temps de telles suites de variables aléatoires peuvent être exprimées mathématiquement géographiquement par la méthode de réseau neurone artificiel généralement pour comprendre son évolution passée et pour en prévoir le comportement futur.

Tabl.III. 3: Caractéristique géographique du site bâle.

III.5.1. Présentations de la base de données :

Pour faire la prédiction de la vitesse du vent nous avons pris une base de donnée pour un site au à partir du site canton Bâle-Ville suisse a partir web du la « **weather history + - meteoblue** »

III.5.2. Caractéristique de site :

Le site de canton **Bâle site** dans l'état de suisse (dans la partie nord-ouest de la suisse) ; les coordonnées du site sont (47.56° N, 7.57°E)

Tabl.III. 3: Les caractéristique géographique du site bâle.

III.6. Simulation et résultats :

III.7. Variation de la vitesse du vent :

Les variations du vent peuvent être étudiées sur différentes échelles spatiales et temporelles. Cette variation, mensuelle et journalière, est due aux différents facteurs ; inégalité de réchauffement terrestre, variétés de reliefs, différence de hauteur(10). Comme exemple le site canton **Bâle**.

jour,	vitesse de vent (km/h)		
	Minimum	Maximum	Moyen
07/09/2020	0,71999997	11,923557	6,239538
08/09/2020	0,35999998	7,0911775	2,3410106
09/09/2020	1,609969	12,620554	6,650658

CHAPITRE III : SIMULATION NUMERIQUE

10/09/2020	2,3051248	14,759999	7,7112126
11/09/2020	0	10,24578	3,1766756
12/09/2020	1,0182338	6,5693827	2,6043022
13/09/2020	2,5455842	9,028754	4,671581
14/09/2020	0	12,303366	6,4564595
15/09/2020	1,2979984	11,928989	5,305276
16/09/2020	1,08	13,363711	4,7609944
17/09/2020	1,0182338	18,388212	9,305592
18/09/2020	1,08	18,057508	10,564247
19/09/2020	0	17,10284	8,134287
20/09/2020	1,2979984	14,118243	6,1403546
21/09/2020	0,8049845	11,542478	7,0037384
22/09/2020	3,219938	14,24163	7,4853115
23/09/2020	3,4152596	12,015589	7,507422
24/09/2020	2,7416782	24,098497	14,100751
25/09/2020	6,130579	31,37168	21,7715
26/09/2020	28,1169	43,921474	34,711407
27/09/2020	3,4152596	29,275326	19,207598
28/09/2020	0,35999998	13,627795	6,1946526
29/09/2020	2,5455842	22,450264	12,186047
30/09/2020	3,396233	12,181625	7,347799
01/10/2020	0	18,806337	8,341767
02/10/2020	1,8	23,795427	11,163959
20/10/2003	10,105681	32,35997	16,556067
04/10/2020	6,924738	44,92073	23,175802
05/10/2020	4,6800003	24,985659	16,017033
06/10/2020	11,304229	31,820824	22,466356

Tabl.III. 4: Le donnée de variation de vitesse de vent (07/09/2020_06/10/2020)

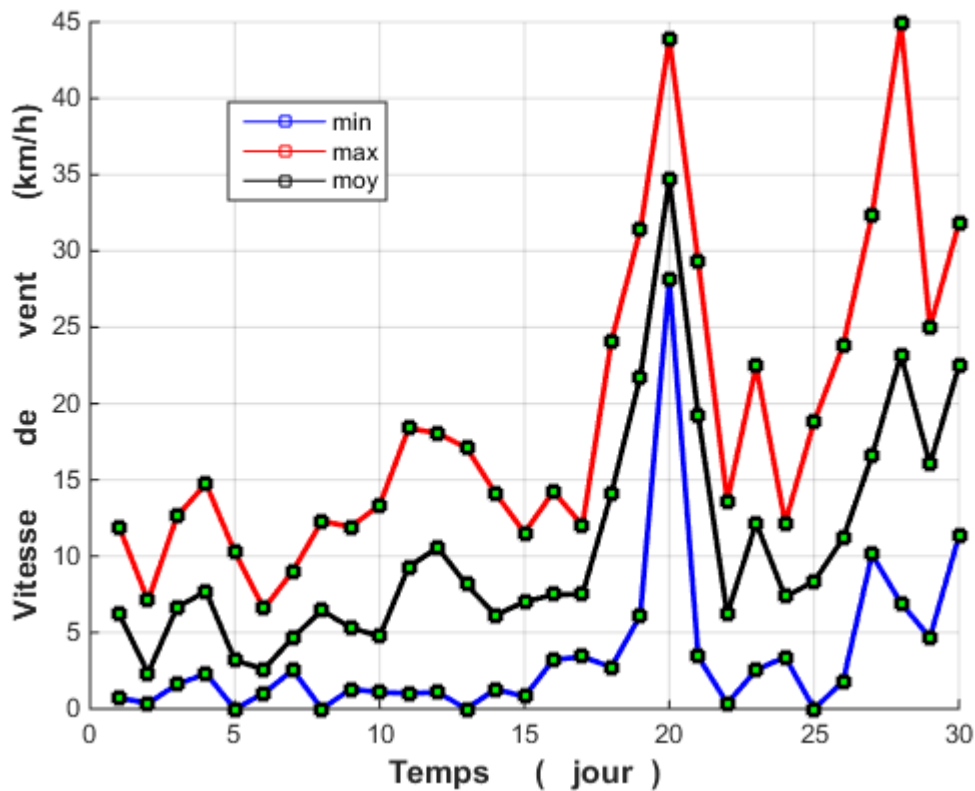


Fig.III. 4: La courbe de variation de vitesse de vent (07/09/2020_06/10/2020)

III.8. Mise en œuvre du modèle RNA

Dans un premier temps on commence par la conception du modèle neuronal de type PMC pour être appliqué dans la prédiction des données descriptives de la vitesse de vent

L'apprentissage est le processus à travers lequel l'ajustement des poids du réseau pour une prédiction optimale est effectué. Le modèle neuronal (PMC) à rechercher dispose d'un neurone d'entrée correspondant de un mois, avec un neurone de sortie ayant pour fonction d'activation, la fonction linéaire (figure .III.5.).

III.8.1. Prévion de la vitesse du vent à l'aide de LM « Levenberg-Marquardt »

Algorithme de propagation arrière :

Le modèle RNA artificiel utilisant LM« Levenberg-Marquardt » est illustré à la Fig.III.5. Il entrée (input), sortie (output) et une couche cachée. La couche cachée (hidden layers) a 20 neurones. Après simulation, la prévion de la vitesse du vent pour un mois (07/09/2020_06/10/2020) comme indiqué sur la Fig. III.5.

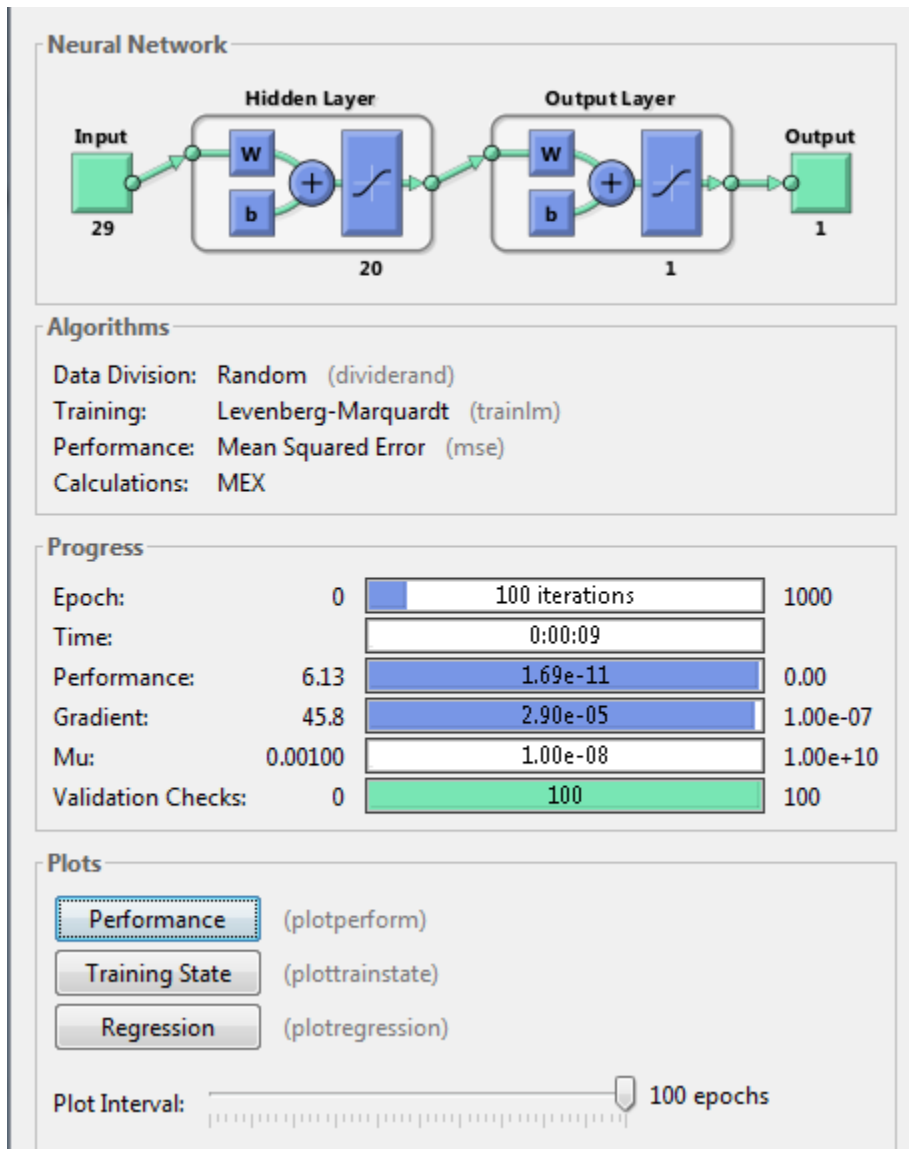


Fig.III. 5: Structure générale du modèle RNA.

Le graphe de performance par rapport au vent la vitesse de l'ensemble de test est illustrée à la Fig.III.6. Tracés entre la vitesse du vent testé et meilleur et validation et entraînement (07/09/2020_06/10/2020). Et courbe de la régression à la Fig .III. 7.

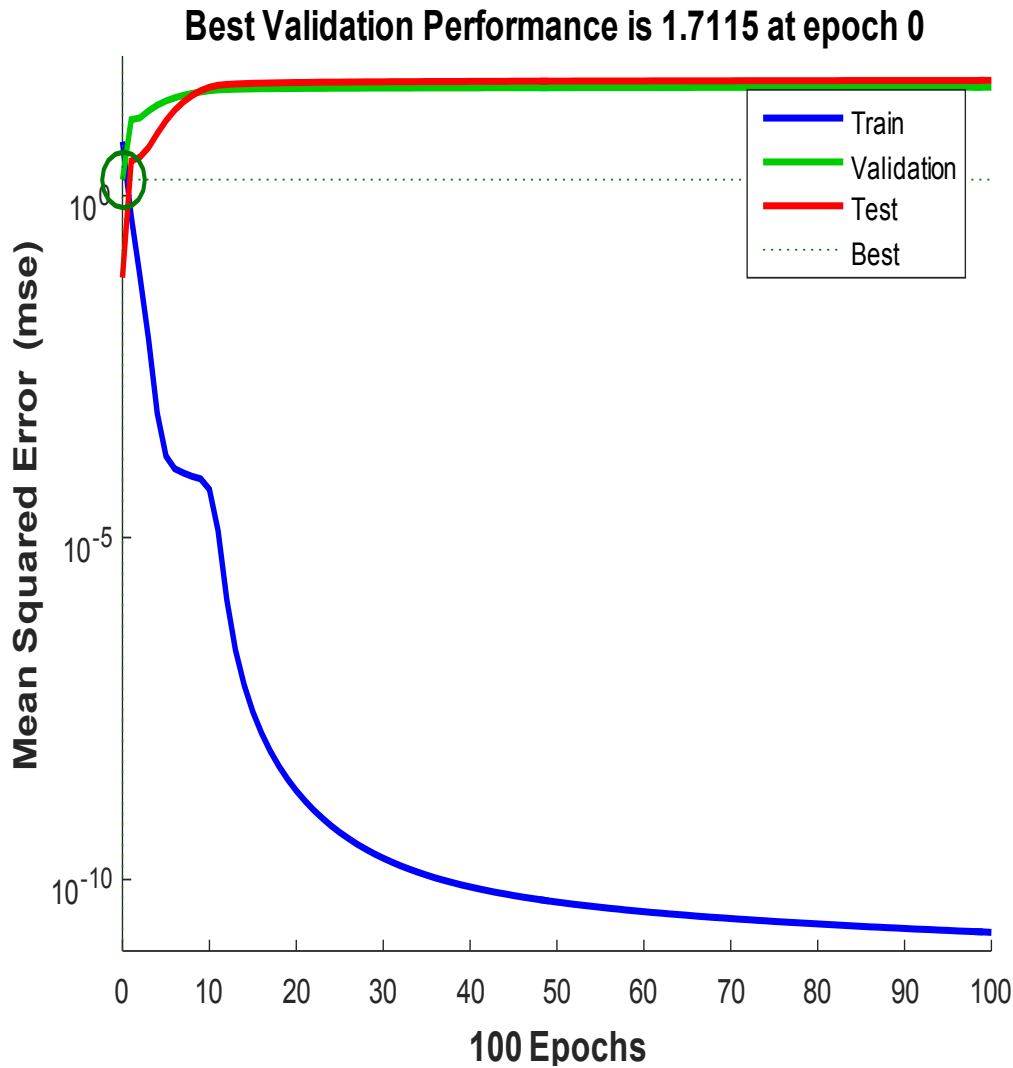


Fig.III. 6: Courbes de performance.

✓ En règle générale, l'erreur diminue après plusieurs période (Epochs) d'apprentissage, mais peut commencer à augmenter sur l'ensemble des données de validation lorsque le réseau commence à sur apparier les données apprentissage .Dans la configuration par défaut, la formation arrête après dix augment consécutives de l'erreur de validation et la meilleure performance sont tirées de l'époque avec l'erreur de validation la plus faible.

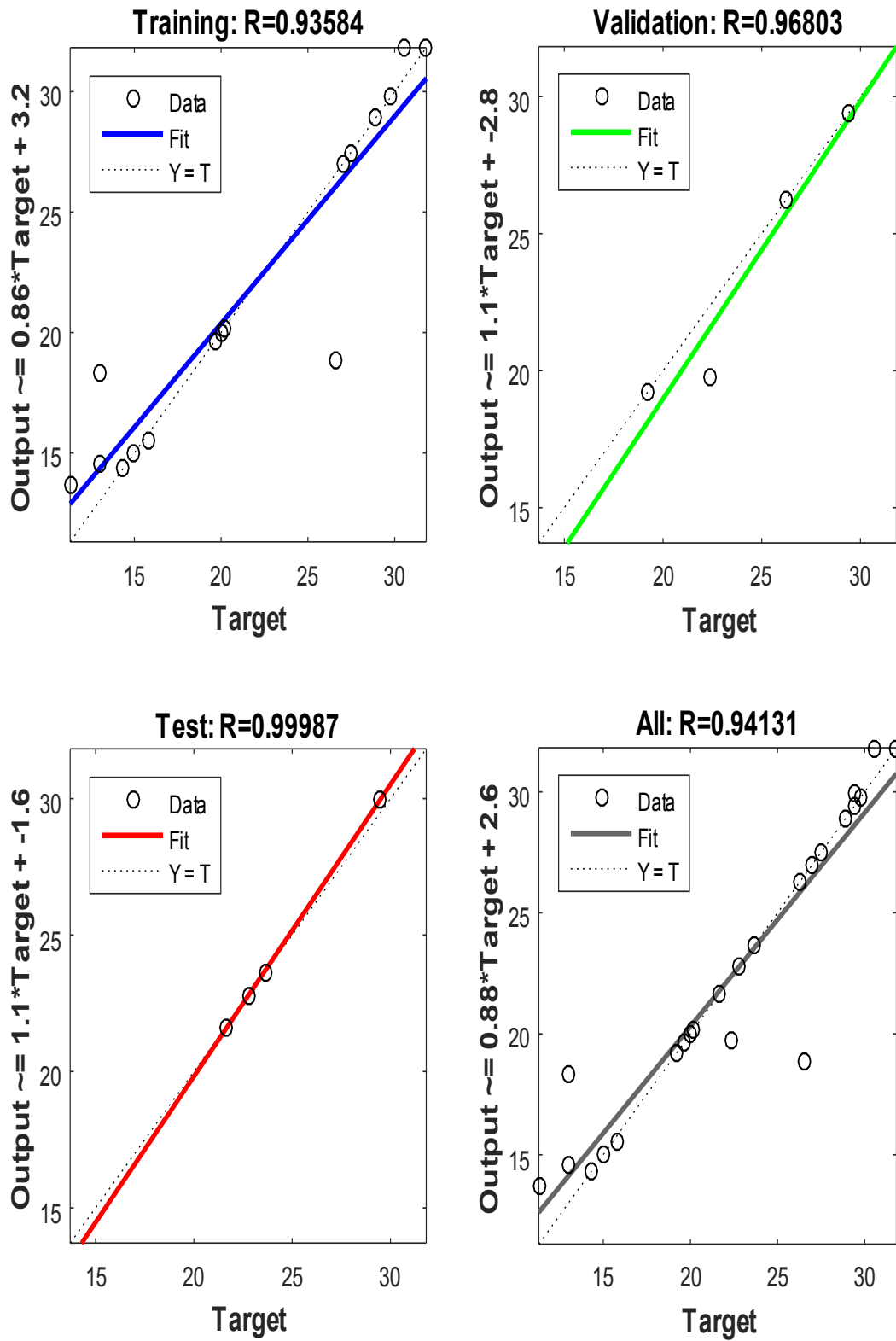


Fig.III. 7: Courbe de régression.

✓ Les courbes (Fig.III.7) de régression permettent de valider la performance du réseau construit. Les valeurs en ordonnées représentent les sorties du réseau, pour les entrées de (l'apprentissage 'training', de validation, de test et pour l'ensemble 'all'). Les valeurs en abscisses représentent les valeurs désirées.

- Les cercles en noir représentent les valeurs désirées, les droites continues représentent l'approximation faite par le réseau, les droites en pointillé représentent la parfaite approximation.

On constate que :

- Les données de l'apprentissage sont classées à 93%.
- Les données de validation sont classées à 96%.
- Les données de test sont classées à 99%.
- Globalement les données sont classées à 94%.

Toutes les données sont concentrées sur la droite en pointillée avec un taux de classification de 99%. Ce qui signifie que la tâche de l'apprentissage a réussi. La performance du réseau est évaluée à 94%.

III.8.2. Simulation et résultats :

Ici, la prévision de la vitesse du vent avec un échantillon de un jour utilisant MATLAB R14a. Les données de un mois (07/09/2020_06/10/2020) sont utilisées comme ensemble de formation, alors que les données de un jour sont pour tester. Les ensembles de test sont séparés des ensembles de formation.

Les valeurs obtenues de résultat de la simulation représentées dans tableau (Tabl.III.5)

Tracés entre la vitesse du vent estimée et actuelle du un jour (07/09/2020) les prévisions pour un jour sont illustrées aux (Fig.III.8) et les résultats de la simulation montrent que l'erreur la plus élevée et la moins élevée.

Temps (h)	La vitesse de vent actuelle (km/h)	La vitesse de vent estimée (km/h)	Erreur
00 :00	27,4592930000000	26,9316000000000	0,527700000000000
01:00	29,4628730000000	29,3235000000000	0,139400000000000
02:00	29,4144440000000	25,4229000000000	3,99150000000000
03:00	19,6422800000000	20,1193000000000	-0,477000000000000

CHAPITRE III : SIMULATION NUMERIQUE

04:00	22,7826250000000	23,4051000000000	-0,622400000000000
05:00	22,3664020000000	22,7285000000000	-0,362100000000000
06:00	14,9822280000000	15,5972000000000	-0,615000000000000
07:00	13,0447235000000	15,5394000000000	-2,494700000000000
08:00	13,0099030000000	13,6218000000000	-0,611900000000000
09:00	15,7908325000000	16,6799000000000	-0,889100000000000
10:00	20,0180720000000	20,0617000000000	-0,043700000000000
11:00	29,7844260000000	29,6788000000000	0,105600000000000
12:00	30,5470100000000	30,6471000000000	-0,100100000000000
13:00	31,8208240000000	31,5459000000000	0,274900000000000
14:00	26,2503930000000	28,7820000000000	-2,531600000000000
15:00	26,5644860000000	26,6245000000000	-0,060000000000000
16:00	28,9167630000000	28,7693000000000	0,147400000000000
17:00	26,9999980000000	27,0795000000000	-0,079500000000000
18:00	11,3042290000000	15,2948000000000	-3,990500000000000
19:00	14,3458980000000	18,0494000000000	-3,703500000000000
20:00	19,2456970000000	19,5358000000000	-0,290100000000000
21:00	21,6269840000000	21,5570000000000	0,070000000000000
22:00	20,1889080000000	23,7420000000000	-3,553100000000000
23:00	23,6232430000000	18,1382000000000	5,485000000000000

Tabl.III. 5: Résultats de simulation du modèle RNA (07/092020_06/10/2020).

✓ Cette courbe (Fig.III.8) représenté la vitesse de vent estimée par rapport à la vitesse actuelle, avec l'apparition d'erreur entre deux vitesses en une journée.

La comparaison entre la sortie calculée par le réseau (valeurs estimées) et les valeurs de vitesse de vent réellement obtenus (valeurs actuelle) montre un bon rapprochement. D'après les résultats obtenus, une amélioration positive de l'erreur d'apprentissage est constatée lorsqu'il y a association de neurones de plus en plus croissante dans la couche cachée.

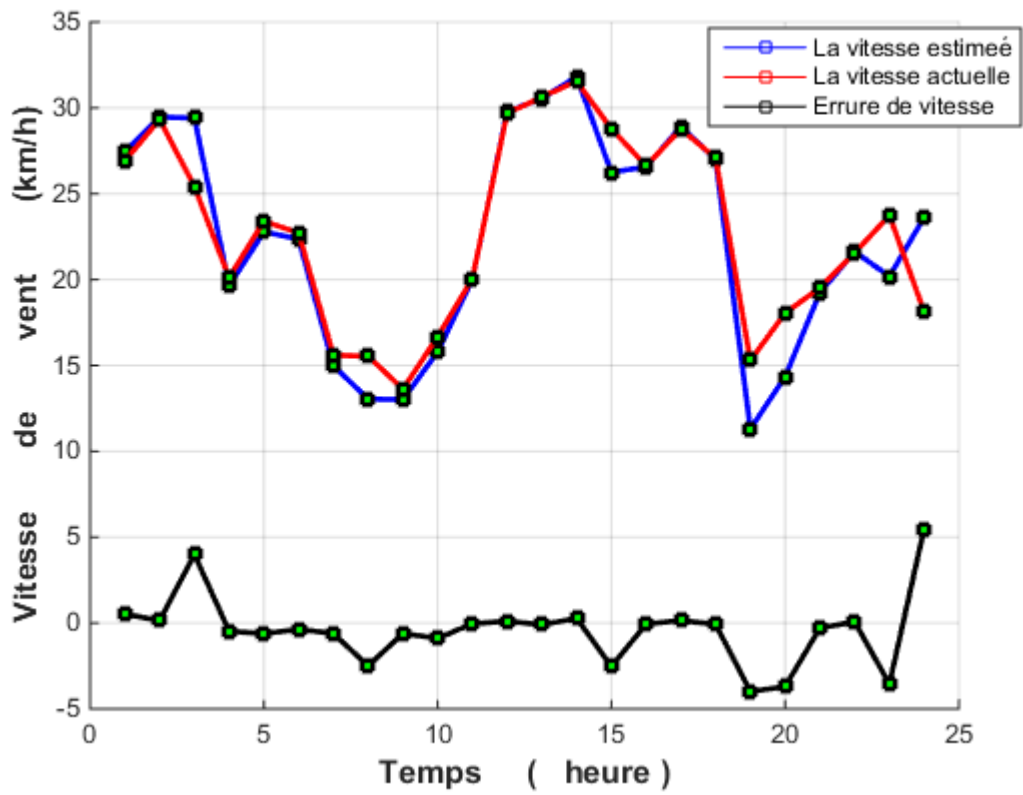


Fig.III. 8: Courbe de résultat de simulation du modèle RNA (07/09/2020_06/10/2020).

III.8.3. Prédiction par le réseau de neurones la puissance de vent :

À la vitesse du vent supérieure à la vitesse nominale du vent. La régulation est utilisée pour limiter le couple rotor. Les modèles détaillés sont souvent utilisés pour la simulation et l'évaluation des systèmes de production d'énergie éolienne dans les applications de terrain. Cependant, pour une éolienne spécifique, un modèle doit être développé en fonction de sa courbe de performance de puissance de sortie, qui est donnée par le fabricant. Dans ce mémoire, la puissance de sortie des éoliennes est estimée par interpolation des valeurs des données fournies (Tabl.III.6) par les fabricants. Comme les courbes de puissance (Fig.III.9) sont assez lisses, elles peuvent être approximées pour fonctionner. L'équation d'ajustement de la caractéristique de sortie de l'éolienne peut être exprimée comme :

(III.8)

Pr: Rated power, **Vci** : Cut-in speed, **Vr** :Cut-out speed, **Vco** : Speed at rated power, **Vw** : Wind speed respectively.

Pr	Vci	Vr	Vco	a	b	c	d	e
140	3	15,01	17	-0,015	0,33	-0,9	-2,1	7,1

Tabl.III. 6: Les valeurs des données de vitesse de vent

CHAPITRE III : SIMULATION NUMERIQUE

Dans le tableau suivant, nous allons présenter les calculs de la puissance sortie relativement la vitesse de vent estimées et actuelle.

Temps (h)	Puissance estimée (W)	Puissance actuelle (W)
00 :00	32,20261628	34,39137948
01:00	42,59320101	43,23364645
02:00	26,30034647	43,01070414
03:00	10,22359989	9,157355076
04:00	19,29167848	17,34580995
05:00	17,1815661	16,10331795
06:00	2,660187572	2,059415146
07:00	2,599531934	0,788036166
08:00	1,071107559	0,773458308
09:00	3,960115398	2,869781981
10:00	10,0914543	9,991984076
11:00	44,23280177	44,72457642
12:00	48,81156541	48,33118044
13:00	53,19219641	54,55448791
14:00	40,13933152	29,47076566
15:00	30,9577438	30,71700372
16:00	40,08245339	40,7448078
17:00	32,80980568	32,48280429
18:00	2,352508144	0,390711477
19:00	6,059730683	1,539789072
20:00	8,928085421	8,319615968
21:00	13,82344019	14,01340765
22:00	20,38814565	10,38453886
23:00	6,213746004	19,99819822

Tabl.III. 7: Puissance estimée et actuelle de vent (kWh).

✓ Cette courbe (Fig.III.9) représenté la puissance de vent estimée par rapport à la puissance actuelle, avec l'apparition d'erreur entre deux puissances en une journée.

La comparaison entre la sortie calculée par le réseau (valeurs estimées) et les valeurs de puissance de vent réellement obtenus (valeurs actuelle) montre un bon rapprochement. D'après les résultats obtenus, une amélioration positive de l'erreur d'apprentissage est constatée lorsqu'il y a association de neurones de plus en plus croissante dans la couche cachée.

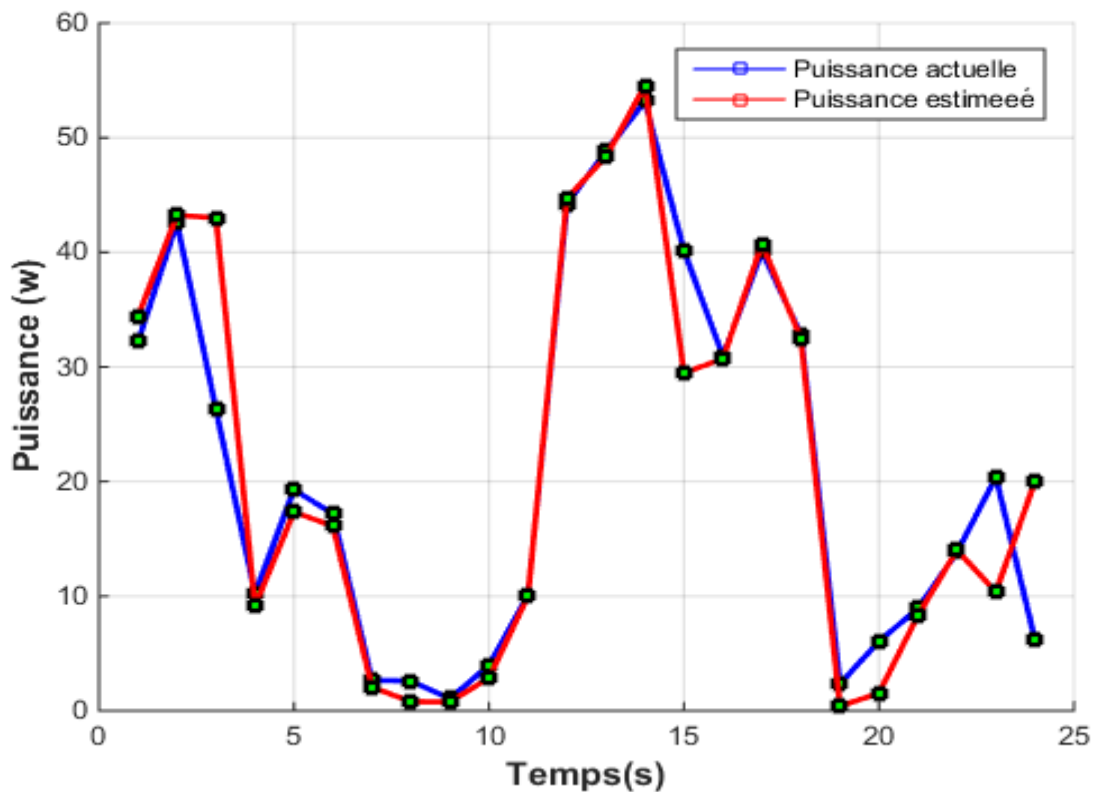


Fig.III. 9: La courbe de puissance de vent.

III. Conclusion :

Cet article a conféré en utilisant **RNA** artificiel algorithmes à savoir **LM**« Levenberg-Marquardt » retour propagation. Le principal problème est que le vent quotidien les courbes de vitesse sont très volatilité. Les résultats de la simulation des prévisions précises même dans les cas de volatilité. Le modèle **RNA** artificiel utilisé a prévu la vitesse du vent pour chaque jour un mois (07/09/2020_06/10/2020) et les résultats indiquent qu'il a réalisé bien même en cas de changements climatiques soudains. Les résultats suggèrent que le modèle **RNA** artificiel actuel avec la structure peut effectuer une bonne prédiction avec moins d'erreur.

Conclusion général

Dans ce mémoire l'objectif principal c'est une prévision de la vitesse de vent pour la production de l'énergie électrique. À cet objectif nous avons sélectionné un **site canton Bâle-Ville suisse** pour cette étude.

Le vent comme phénomène chaotique peut être mesuré sur une période conventionnelle de **1 MOIS « 07/09/2020_06/10/2020 »** il est variable mensuellement et journalière, pour le modéliser plusieurs méthodes ont été utilisées, parmi ces méthodes qui font l'objet de notre travail est la méthode de réseaux neurones artificiels **RNA**. Cette méthode consiste à introduire les données de la vitesse du vent dans un programme sous « Matlab ». Les résultats obtenus de cette méthode sont comparés avec mesurés.

D'une manière générale, l'utilisation de ces techniques nous permet d'obtenir des valeurs futures bien précises concernant la vitesse du vent et par conséquent une meilleure prédiction de la valeur de la vitesse du vent.

Bibliographie :

- [1] « Machine électromagnétique », www.elec.jbd.free.fr.
- [2] MACHINES HYDRAULIQUES Classification et Définitions ; www.almohandiss.com
- [3] A. M. SYLLA, ‘Modélisation d'un émulateur éolien à base de machine asynchrone à double alimentation’, Mémoire de maîtrise de l’université du Québec à Trois-Rivières, 2013.
- [4] L. khelfat,L. maataoui , ‘ Etude et simulation d’une éolienne à base d’une machine asynchrone doublement alimentée’,Mémoire de master, Université Badji Mokhtar-Annaba, juin 2017.
- [5] Melloul. A: Simulation et diagnostic d’une machine asynchrone à double alimentation d’une éolienne. Mémoire de magister, Université de Sétif, Sétif (Algérie), 2011 .dans un Réseau de Distribution Insulaire”, Thèse de Doctorat, Université d'Artois décembre2004
- [6] « Le petit éolien », ADEME (Agence de l’Environnement et de la Maitrise de l’Energie) ; France, septembre2006
- [7] A. M. SYLLA, ‘Modélisation d'un émulateur éolien à base de machine asynchrone à double alimentation’, Mémoire de maîtrise de l’université du Québec à Trois-Rivières, 2013.
- [8] Antonelo. E, Schrauwen. B, Dutoit. X, Stroobandt. D, Nuttin. M: Event detection and localization in mobile robot navigation using reservoir computing. Artificial Neural Networks ICANN, pp. 660-69, 2007.
- [9] Y. HAMMOUCHE, ‘ Comparaison de plusieurs méthodes pour la prédiction de la Charge Electrique Nationale ’, MEMOIRE Présenté en vue de l’obtention du diplôme de Magistère, université du Badji Mokhtar Annaba, Année 2009.
- [10] http://www.statsoft.fr/concepts-statistiques/reseaux-de-neurones_automatises/reseaux-de-neurones-automatises.htm#prevision.2001.

- [11] [Mokhnachi. L: Application des réseaux de neurones dans le diagnostic et la prédiction des isolations de haute tension. Thèse de Doctorat, ENP d'Alger \(Algérie\) ,2003.](#)
- [12] Saha. O, Boutaleb. A: Applications des Les réseaux de neurones artificiels aux matériaux dans le génie civil : état de l'art. Colloque Méditerranéen sur les Matériaux CMEDIMAT,Oran (Algérie), 2005.
- [13] S.ZEGHLACHE, Commande Intelligente, cours, université Mohamed boudiaf-m'sila.2008.
- [14] Boyette. A: Contrôle-commande d'un générateur asynchrone à double alimentation avec système de stockage pour la production éolienne. Thèse de Doctorat.
- [15] A.M. Ibrahim, "Fuzzy logic for embedded systems applications", Newnes Edition, United States of America, 2004.
- [16] Y. Hen Hu, J.-Neng Hwang, "Handbook of neural network signal processing",CRC Press LLC, United States of America, 2002.
- [17] H.CHERGUI, 'prédiction énergétique d'une éolienne, cas de l'aérogénérateur NREL' ,Mémoire de master, Université Mohamed boudiaf-M'sila faculté de technologie, 2014/2015.
- [18] M.S . BERRACHED, 'Analyse Technico-économique des Systèmes de Conversion d'Energie Eolienne Appliquée sur la Région de Tlemcen', Mémoire de master, Université de Tlemcen, 14 /06/2015.
- [19] O. BENALI, ' Evaluation de potentiel énergétique éolien dans la région sud-est du Sahara algérienne', Mémoire de master, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2014/2015.
- [20] SHANG Xiaoxia, 'Etude de la canopée forestière De la mesure lidar aéroporté à l'observation spatiale', THESE DE DOCTORAT, L'UNIVERSITEDE VERSAILLES SAINT-QUENTIN-EN-YVELINES I, 16/12/2014.

- [21]** Léa THEBAUD, ‘Analyse de données de vent en Europe pour caractériser le potentiel éolien en mer’ ,31 mai 2018.
- [22]** Boudia-Sidi-Mohammed,«Optimisation del’ÉvaluationTemporelleduGisement Énergétique Éolien par Simulation Numérique et Contribution à la Réactualisation de l’Atlas des Vents en Algérie», Thèse de Doctorat, Université Abou BekrBelkaïd Tlemcen, Unité de Recherche physique énergie renouvelable Tlemcen.2013.
- [23]** RejemRadia,«Étuded’unchaînedekonversiond’énergieéolienne»,Université de Constantine,2009.